



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 195 16 997 A 1

⑤ Int. Cl.<sup>8</sup>:  
B 41 J 2/045

②1 Aktenzeichen: 195 16 997.2  
②2 Anmeldetag: 9. 5. 95  
④3 Offenlegungstag: 16. 11. 95

DE 195 16 997 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1

10.05.94 JP P 6-096670 08.07.94 JP P 6-157261

⑦1 Anmelder:

Sharp K.K., Osaka, JP

⑦4 Vertreter:

TER MEER-MÜLLER-STEINMEISTER & Partner,  
Patentanwälte, 81679 München

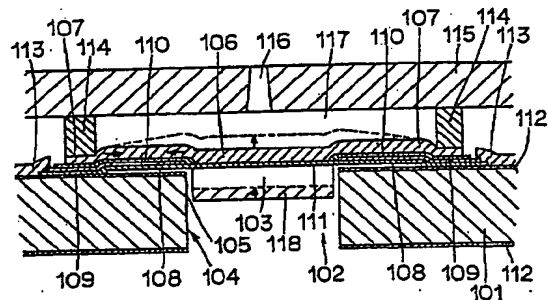
⑦2 Erfinder:

Inui, Tetsuya, Nara, JP; Matoba, Hirotugu, Sakurai,  
Nara, JP; Hirata, Susumu, Nara, JP; Ishii, Yorishige,  
Yamatotakada, Nara, JP; Abe, Shingo, Tenri, Nara,  
JP; Ohta, Kenji, Nara, JP.

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Tintenstrahlkopf und Verfahren zu dessen Herstellung

⑤7 Ein sich ausbeulender Körper (100), dessen beide Enden an einem Substrat (101) befestigt sind und dessen mittlerer Abschnitt sich in freibeweglichem Zustand befindet, wird verformt, wodurch Tinte in einem Hohlraum (103) aus einer Düsenöffnung (108) ausgestoßen wird. Die Abmessungen und das Material des sich ausbeulenden Körpers sowie der Spalt (117) zwischen diesem und der Düsenplatte (115) sind zweckentsprechend ausgewählt. Dadurch ist ein Tintenstrahlkopf mit hohem Integrationsgrad und hoher Auflösung erhalten, der bei niedriger Temperatur arbeitet.



DE 195 16 997 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Tintenstrahl Druckkopf unter Verwendung eines sich ausbeulenden Körpers, und sie betrifft ein Verfahren zum Herstellen desselben.

5 Zusammen mit der Entwicklung von Computern zeigte sich die Bedeutung von Druckern als Informationsausgabevorrichtung. Die Nachfrage nach höherem Leistungsvermögen, kleinerer Größe und größerem Funktionsumfang bei Druckern, die Code- und Bildinformation von Computern auf Papier und Folien für Overheadprojektoren ausgeben, ist groß, insbesondere bei Computern, die immer leistungsfähigere Funktionen bei Verringerung der Gesamtgröße beinhalten. Insbesondere erfolgte viel Forschung und Entwicklung hinsichtlich Tintenstrahl Druckern, die Tintenflüssigkeit auf Papier oder einen Polymerfilm ausstoßen, um Zeichen und Bilder zu erzeugen. Ein Tintenstrahl Drucker zeichnet sich durch seine kompakte Größe, sein hohes Leistungsvermögen und seinen geringen Energieverbrauch aus.

Der wichtigste Teil eines Tintenstrahl Druckers ist das als Tintenstrahlkopf bezeichnete Bauteil. Es ist wesentlich, Tintenstrahlköpfe zu geringen Kosten mit kleinen Abmessungen herzustellen.

15 Zum Herstellen von Tintenstrahlköpfen sind verschiedene herkömmliche Verfahren bekannt. Eines verwendet ein piezoelektrisches Element. Gemäß den Fig. 28A und 28B ist eine Tintendruckkammer 821 so ausgebildet, daß sie ein piezoelektrisches Element 820 und einen Behälter 822 umfaßt. An das piezoelektrische Element 820 wird eine Hochspannung angelegt, um in ihm eine mechanische Verformung zu erzeugen.

Mittels dieser mechanischen Auslenkung wird in der Tintendruckkammer 821 ein Druck erzeugt, wodurch Tinte durch eine Düse 823 ausgespritzt wird. Tinte wird erneut in die Tintendruckkammer 821 eingezogen, wenn das piezoelektrische Element 820 in seine vorige Stellung zurückgeführt wird.

20 Es existiert ein anderes, als Blasen-Strahlverfahren bezeichnetes Verfahren. Gemäß Fig. 29 ist ein Heizer 830 innerhalb eines Hohlraums angebracht. Dieser Heizer 830 wird schnell erhitzt, um Tinte zum Sieden zu bringen. Dadurch werden Blasen erzeugt, die bewirken, daß Tinte durch Druckänderung aus einer Düse 831 ausgegeben wird.

25 Ein anderer Typ ist in der Offenlegung Nr. 2-30543 zu einer japanischen Patentanmeldung offenbart. In einer Tinten-kammer ist ein Bimetallelement vorhanden. Dieses Bimetallelement wird so erwärmt, daß es sich verformt. Durch diese Verformung wird der Tinte Druck zugeführt, wodurch sie ausgegeben wird.

Es existiert ein anderer Typ, der einen Körper mit Ausbeulstruktur (nachfolgend als "sich ausbeulender Körper" bezeichnet) anstelle eines Bimetallelements enthält. Druck wird dadurch auf Tinte ausgeübt, daß dieser Körper verformt wird, wodurch Tinte ausgegeben wird.

Die vorstehend genannten Tintenstrahlköpfe weisen Schwierigkeiten auf, wie sie im folgenden dargelegt sind.

30 Beim ersten Typ unter Verwendung eines piezoelektrischen Elements besteht dieses aus einem mehrschichtigen Aufbau aus piezoelektrischem Material. Der Herstellprozeß für den Kopf erfordert eine mechanische Bearbeitung bei der Ausbildung des piezoelektrischen Elements. Daher kann die Größe der Tinten-kammer nicht verkleinert werden, wodurch die Abstände zwischen den Tinte ausstoßenden Düsen nicht verkleinert werden können. Es besteht auch der Nachteil, daß zum Verformen des piezoelektrischen Elements eine hohe Spannung erforderlich ist.

Beim Kopftyp mit durch Blasen erzeugtem Strahl müssen Blasen dadurch erzeugt werden, daß Tinte zum Sieden gebracht wird.

40 Dabei ist es erforderlich, die Temperatur des Heizers augenblicklich auf einige hundert °C zu bringen. Dadurch ist eine Beeinträchtigung des Heizers nicht vermeidbar, was zu kurzer Lebensdauer desselben führt.

Bei dem in der Offenlegung Nr. 2-30543 zu einem japanischen Patent offenbarten Tintenstrahlkopf wird ein Ausbeulvorgang als Antriebsquelle zum Ausstoßen von Tinte verwendet. Genauer gesagt, wird ein Bimetall mit zwei verschiedenen Arten von Metall, die miteinander verbunden sind, erwärmt, um eine Verformung zum Ausstoßen von Tinte zu erzeugen. Es muß ein Bimetallaufbau mit verschiedenen Arten von Materialien, die in einer komplizierten Struktur geschichtet sind, hergestellt werden. Obwohl die gleichzeitige Herstellung kleiner Antriebsquellen begünstigt ist, erfordert der aktuelle Typ die individuelle Herstellung und den individuellen Zusammenbau von Komponenten, wobei eine Integration schwierig ist.

50 Ferner ist der Wirkungsgrad bei der Tintenzufuhr wegen Schwierigkeiten im Aufbau eines Tintenzuführlochs und des als Antriebsquelle dienenden Bimetalls nicht gut.

Obwohl die Verwendung eines sich ausbeulenden Körpers als Antriebsquelle die herkömmlichen Nachteile bei einem Ausbeulvorgang beseitigt, sind die Ausstoßeigenschaften nicht allzu gut.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Tintenstrahlkopf mit hohem Integrationsgrad und hoher Auflösung anzugeben, der bei niedriger Temperatur arbeitet.

55 Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, einen Tintenstrahlkopf mit günstigen Ausstoßeigenschaften unter Verwendung eines sich ausbeulenden Körpers zu schaffen.

Beim Tintenstrahlkopf gemäß Anspruch 1 ist nur eine Erzeugungsenergie von ungefähr  $10^{-7}$  J zum Tintenausstoß erforderlich. Auch ist ein Element herstellbar, das bei einer vorgegebenen Länge eines sich ausbeulenden Körpers maximale Erzeugungsenergie aufweist.

60 Durch den Tintenstrahlkopf gemäß Anspruch 2 wird große Ausstoßenergie erreicht, wodurch die Ausstoßgeschwindigkeit von Tinte erhöht ist.

Beim Tintenstrahlkopf gemäß Anspruch 4 liegt die Dicke des sich ausbeulenden Körpers innerhalb von  $\pm 50\%$  von  $(L/II)(0,6 \text{ at})^{1/2}$ , wobei die Größen  $L$ ,  $\alpha$  und  $t$  in Anspruch 4 definiert sind. Der Tintenstrahlkopf kann Eingangsenergie wirkungsvoll in Ausgangsenergie umsetzen.

65 Beim Tintenstrahlkopf gemäß Anspruch 5 ist der Abstand zwischen dem sich ausbeulenden Körper und der Düsenplatte auf einen vorgegebenen Wert eingestellt, wodurch die Auslenkung des sich ausbeulenden Körpers so ausgewählt werden kann, daß sie der Dicke eines Abstandshalters entspricht, wenn die Länge und die Dicke

des sich ausbeulenden Körpers innerhalb des im Anspruch 1 ausgegebenen Bereichs ausgewählt werden.

Da beim Tintenstrahlkopf gemäß Anspruch 6 mehrere sich ausbeulende Körper in deren Längsrichtung in einem einzelnen Hohlraum angeordnet sind, kann durch diese sich ausbeulenden Körper viel Energie erzeugt werden, während die Länge derselben klein gehalten wird. Dadurch wird ein Element mit hohem Ansprechverhalten geschaffen. Ferner ist die Integration von  $n$  Elementen erleichtert, da die Gesamtbreite der Elemente wie die eines einzigen Elements auf einem kleinen Wert gehalten wird.

Da der Tintenstrahlkopf gemäß Anspruch 7 einen Ausbeulungseffekt eines sich ausbeulenden Körpers zum Ausstoßen von Tinte verwendet, kann die Konstruktion der Antriebsquelle einfacher sein als dann, wenn ein Bimetall oder ein piezoelektrisches Element verwendet wird. Durch Auswählen geeigneter Abmessungen für den Kolben kann ein integrierter Kopf mit hoher Auflösung und kleiner Größe hergestellt werden. Ferner wird durch geeignetes Einstellen des Spalts zwischen dem Kolben und der ihn umgebenden Wandfläche eine Gegenströmung von Tinte verhindert, wodurch das Ausstoßen wirkungsvoll erfolgen kann. Wenn ein Spalt mit einer Form rechtwinklig zum Substrat geschaffen wird, besteht auch dann, wenn der Kolben angetrieben wird, keine Änderung der Spaltabmessung und die Charakteristik ist nicht leicht änderbar. Auch wenn die Länge des Spalts in der Richtung des Substrats vergrößert wird, d. h. die Dicke des Kolbens vergrößert wird, kann der Gegenströmungswiderstand für Tinte (Kanalwiderstand) leicht erhöht werden, um eine Gegenströmung noch zuverlässiger zu unterdrücken.

Da der Tintenstrahlkopf gemäß Anspruch 8 für die Wandfläche des Zuführlochs im Substrat eine (111)-Ebene in einkristallinem Silizium verwendet, ist die Geschwindigkeit bei einem anisotropen Ätzvorgang verringert, wodurch schließlich diese Ebene zurückbleibt. Daher können die Abmessung des Tintenzuführlochs und der Spalt auf genaue Werte eingestellt werden.

Wenn ein Substrat mit einer (100)-Kristallebene verwendet wird, kann ein Tintenzuführloch rechtwinklig zum Substrat hergestellt werden. Die Abmessung des Spalts ändert sich auch dann nicht, wenn der Kolben ausgelenkt wird, weswegen keine Änderung der Charakteristik auftritt. Die Wirkung des Verhinderns einer Gegenströmung von Tinte ist stark. Da bei der Herstellung von Halbleitern Substrate entsprechend einer (110)-Kristallebene in großem Umfang verwendet werden, sind deren Kosten niedrig. Daher trägt die Verwendung eines solchen Substrats zum Verringern der Kosten bei.

Da Kolbeneinheit beim Tintenstrahlkopf gemäß Anspruch 9 konkave Form in bezug auf die andere Fläche des sich ausbeulenden Körpers aufweist, tritt wegen hoher Biegefestigkeit nicht leicht eine Verformung auf. So kann ein Körper mit stabilem Aufbau geschaffen werden. Da die Kolbeneinheit konkav und konvex in bezug auf die andere und die eine Fläche des sich ausbeulenden Körpers ausgestoßen ist, kann das Gewicht der Auslenkeinheit selbst dann verringert werden, wenn die Abmessung der Kolbeneinheit erhöht wird. Daher kann der sich ausbeulende Körper mit hoher Geschwindigkeit angetrieben werden.

Ferner können das Beschichten des sich ausbeulenden Körpers, des Kolbens und der Verdrahtungseinheit gleichzeitig mit im wesentlichen gleicher Dicke ausgeführt werden. Daher ist es nicht erforderlich, einen besonders dicken Abschnitt bereitzustellen, und es kann gleichmäßige Dicke erzielt werden. Wenn die Filmdicke jedes Elements variiert, wenn ein Beschichtungsvorgang ausgeführt wird, ist es möglich, daß sich Innenspannungen innerhalb des Films bilden, was zu Restspannungen nach der Filmherstellung führt. Es ist auch möglich, daß sich der Film wegen den Restspannungen abschrumpft. Derartige Schwierigkeiten werden vermieden, wenn ein Beschichten mit gleichmäßiger Dicke erfolgt. Die Erzeugung von Innenspannungen kann unterdrückt werden, wodurch Verformungen vermieden werden, wie sie nach der Herstellung durch Spannungen verursacht werden. Daher können empfindliche Strukturen hergestellt werden.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren gemäß Anspruch 10 zum Herstellen eines Tintenstrahlkopfs wird eine Kolbeneinheit in einem konkaven Bereich eines Substrats ausgebildet, der als Tintenzuführloch verwendet wird. Daher kann die Form der Kolbeneinheit genau hergestellt werden. Ferner kann die Abmessung des Spalts, da der sich ausbeulende Körper und die Kolbeneinheit hergestellt werden, nachdem eine verlorene Schicht im konkaven Bereich erzeugt wurde, dadurch eingestellt werden, daß die Dicke der verlorenen Schicht verändert wird. Daher kann auf einfache Weise ein extrem kleiner Spalt hergestellt werden.

Da beim Verfahren gemäß Anspruch 12 eine dünne Aluminiumschicht für die verlorene Schicht verwendet wird, kann diese durch Dampfniederschlagung oder Sputtern hergestellt werden, was ihre Ausbildung erleichtert. Auch ist die Ausbildung eines kleinen Musters erleichtert, da auf einfache Weise Ätzvorgänge ausgeführt werden können. Auch besteht der Vorteil, daß die Verwendung von Aluminium einfaches Ätzen ermöglicht, ohne daß Rückstände innerhalb des dünnen Spalts verbleiben. Da eine dünne verlorene Schicht hergestellt werden kann, kann Tintengegenströmung verhindert werden.

Unter Verwendung von Aluminium für die verlorene Schicht kann der Ätzschritt für Aluminium vor einem anisotropen Ätzschritt zum Herstellen eines Tintenzuführlochs erfolgen. So kann die verlorene Schicht gleichzeitig entfernt werden, was die Herstellschritte vereinfacht.

Da beim Herstellungsverfahren gemäß Anspruch 13 die Ausbildung einer Kolbeneinheit durch Beschichten erfolgt, kann der Kolben im konkaven Bereich leicht hergestellt werden. Insbesondere kann als Material für den Beschichtungsprozeß Ni, Cu, Co usw. verwendet werden. Diese Materialien sind dahingehend von Vorteil, daß ein Beschichtungsschritt ausführbar ist und ein Film mit geringen Innenspannungen ausgebildet werden kann. Da diese Metalle über einen relativ hohen Wärmeexpansionskoeffizient und Youngmodul verfügen, kann die im sich ausbeulenden Körper gespeicherte elastische Energie erhöht werden. Es ist auch einfach, eine Legierung hieraus herzustellen, um die Festigkeit des sich ausbeulenden Körpers zu erhöhen, um eine längere Lebensdauer und höhere elastische Energie zu erzielen. Unter Verwendung eines Beschichtungsprozesses kann eine Struktur mit einer Kolbeneinheit mit einem konkaven Bereich und mit gleichmäßiger Dicke ausgebildet werden.

Die vorstehenden und andere Aufgaben, Merkmale, Erscheinungsformen und Vorteile der Erfindung werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung derselben in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen deutli-

cher.

Fig. 1A ist eine Draufsicht, die schematisch die Struktur eines Tintenstrahlkopfs gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

Fig. 1B und 1C sind Schnittansichten des Tintenstrahlkopfs von Fig. 1A entlang der Linie A-A' bzw. B-B'.

5 Fig. 2 zeigt ein Analysemodell für einen erfindungsgemäßen Tintenstrahlkopf.

Fig. 3 ist ein Kurvendiagramm, das die Ausstoßenergie eines aus Al bestehenden sich ausbeulenden Körpers zeigt.

Fig. 4 ist ein Kurvendiagramm, das die Ausstoßenergie eines aus Cu bestehenden sich ausbeulenden Körpers zeigt.

10 Fig. 5—7 sind Kurvendiagramme, die die Ausstoßenergie eines aus Ni bestehenden sich ausbeulenden Körpers zeigen.

Fig. 8 ist ein Kurvendiagramm, das die Auslenkung eines aus Al bestehenden sich ausbeulenden Körpers zeigt.

Fig. 9 ist ein Kurvendiagramm, das die Auslenkung eines aus Cu bestehenden sich ausbeulenden Körpers zeigt.

15 Fig. 10—12 sind Kurvendiagramme, die jeweils die Auslenkung eines aus Ni bestehenden sich ausbeulenden Körpers zeigen.

Fig. 13 ist ein Kurvendiagramm, das die Abhängigkeit der Ausstoßenergie von der Dicke h eines sich ausbeulenden Körpers zeigt.

Fig. 14A—14F sind Schnittansichten des Tintenstrahlkopfs gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel, durch die jeweilige Herstellschritte für diesen veranschaulicht werden.

Fig. 15A ist eine Draufsicht, die schematisch den Aufbau eines Tintenstrahlkopfs gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

Fig. 15B ist eine Schnittansicht des Tintenstrahlkopfs von Fig. 15A entlang der Linie Z-Z'.

25 Fig. 16 ist eine Schnittansicht, die schematisch den Aufbau eines Tintenstrahlkopfs gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

Fig. 17A—17F sind Schnittansichten des Tintenstrahlkopfs gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel, die jeweilige Herstellschritte für denselben veranschaulichen.

Fig. 18 ist eine Draufsicht, die eine Klebeschicht und deren Umgebung in einem Tintenstrahlkopf gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

30 Fig. 19 ist eine Schnittansicht, die schematisch die Struktur eines Tintenstrahlkopfs gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

Fig. 20A—20F sind Schnittansichten für den Tintenstrahlkopf gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel, die jeweils Herstellschritte für diesen veranschaulichen.

Fig. 21A ist eine Schnittansicht, die schematisch die Struktur eines Tintenstrahlkopfs gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt.

Fig. 21B ist eine Draufsicht, die eine Klebeschicht und deren Umgebung im Tintenstrahlkopf gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel zeigt.

Fig. 22 ist eine geschnittene Perspektivansicht des sich ausbeulenden Körpers und der Kolbeneinheit im Tintenstrahlkopf des fünften Ausführungsbeispiels.

40 Fig. 23A—23F sind Schnittansichten des Tintenstrahlkopfs des fünften Ausführungsbeispiels, die jeweilige Herstellschritte für denselben veranschaulichen.

Fig. 24A und 24B zeigen den sich ausbeulenden Körper des Tintenstrahlkopfs des dritten Ausführungsbeispiels vor und nach dessen Verformung.

Fig. 25A und 25B zeigen den sich ausbeulenden Körper des Tintenstrahlkopfs des vierten Ausführungsbeispiels vor und nach der Verformung.

Fig. 26A und 26B zeigen den sich ausbeulenden Körper des Tintenstrahlkopfs des fünften Ausführungsbeispiels vor und nach der Verformung.

Fig. 27A und 27B sind Diagramme zum Beschreiben des Ausstoßes von Tinte vor und nach der Verformung des sich ausbeulenden Körpers des Tintenstrahlkopfs des dritten Ausführungsbeispiels.

50 Fig. 28A und 28B sind Schnittansichten eines Tintenstrahlkopfs vor und nach der Verformung unter Verwendung eines herkömmlichen piezoelektrischen Elements.

Fig. 29 ist eine perspektivische Explosionsansicht, die die Struktur eines herkömmlichen Blasen-Tintenstrahlkopfs zeigt.

#### 55 Erstes Ausführungsbeispiel

Da der erfindungsgemäße Tintenstrahlkopf integriert ist, zeigen die folgenden Zeichnungen nur einen Teil desselben. Fig. 1A ist eine Draufsicht auf einen Tintenstrahlkopf, gesehen von der Seite eines sich ausbeulenden Körpers her, ohne eine Verbindung zwischen einem Substrat 1 und dem sich ausbeulenden Körper 10 in den Fig. 1B und 1C.

60 Das Substrat 1 besteht z. B. aus einkristallinem Silizium. Auf der Oberfläche desselben wird ein Siliziumoxidfilm 21 hergestellt, auf dem wiederum eine Nickelbeschichtung 10-1 hergestellt wird, die gemustert wird, um einen schmalen, langen sich ausbeulenden Körper 10 auszubilden. Abschnitte 2a und 2b mit großer Breite an jeder Seite des sich ausbeulenden Körpers 10 dienen als Elektroden. Auf dem sich ausbeulenden Körper 10 und der Nickelbeschichtung 10-1 ist eine Düsenplatte 5 aus z. B. Glas vorhanden, unter der eine Abstandshalter-  
65 schicht 7 und eine Klebeschicht 8 liegen. In der Düsenplatte 5 ist eine Düsenöffnung 6 vorhanden, die im wesentlichen der Mitte des sich ausbeulenden Körpers 10 zugewandt ist. Im Substrat 1 ist ein Tintenzuführloch 4 vorhanden. Ein zwischen dem Substrat 1 und der Düsenplatte 5 ausgebildeter Hohlraum 3 ist mit Tinte gefüllt.

Der sich ausbeulende Körper 10 verfügt über eine solche Struktur, daß jede Seite am Substrat 1 befestigt ist und der mittlere Abschnitt freiliegt; er wird zur Düsenöffnung 6 hin ausgelenkt.

Der sich ausbeulende Körper 10 wird dadurch erwärmt, daß ein Strom über die Elektroden 2a und 2b zugeführt wird. Dabei dehnt er sich und lenkt sich aus, wie es durch die gestrichelte Linie in Fig. 1B dargestellt ist. Diese Verformung bewirkt eine Zunahme des Drucks in dem über das Zuführloch 4 gefüllten Hohlraum, wodurch Tinte aus der Düsenöffnung 6 in der Düsenplatte 5 ausgegeben wird. So werden Tintentröpfchen auf ein nicht dargestelltes Blatt Papier zum Erstellen eines Ausdrucks gespritzt.

Die Auslenkung des sich ausbeulenden Körpers 10 wird unter Bezugnahme auf Fig. 2 untersucht, wie dies im folgenden dargelegt wird. Wenn in rechtwinkliger Richtung auf ein Ende eines Stabs der Länge L eine Last W wirkt, wobei das andere Ende festgehalten ist, entsteht an einer Position x ein Biegemoment Mx, wie es im folgenden angegeben ist, wobei die Auslenkung y<sub>1</sub> am Ende und die Auslenkung y an der Position x vorliegen:

$$M_x = -W(y_1 - y) \quad (1)$$

Durch Anwenden der Gleichung auf die Verbiegung des Stabs ergibt sich:

$$EI d^2y/dx^2 = -M_x(y_1 - y) \quad (2)$$

wobei E der Youngmodul des Materials des Stabs ist und I das Trägheitsmoment ist. Durch zweifaches Differenzieren der Gleichung (2) ergibt sich:

$$d^4y/dx^4 + a^2 d^2y/dx^2 = 0 \quad (3)$$

mit  $a^2 = W/(EI)$ . Unter Verwendung von konstanten A, B, C und D ist die allgemeine Lösung der Gleichung (3) wie folgt darstellbar:

$$y = A \sin(ax) + B \cos(ax) + Cx + D \quad (4)$$

Wenn als Grenzbedingung jedes Ende festgehalten wird, was Fig. 1 entspricht, ergibt sich für  $x = 0$  und L (jedes Ende) eine Auslenkung und ein Differentialkoeffizient der Auslenkung von 0, d. h.  $y = 0$ ,  $dy/dx = 0$ . Daher müssen für A, B, C und D gleichzeitig die folgenden Gleichungen gelten:

$$\begin{aligned} B + D &= 0 \\ A \sin(aL) + B \cos(aL) + CL + D &= 0 \\ aA + C &= 0 \\ aA \cos(aL) - aB \sin(aL) + C &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Um eine Lösung zu erhalten, bei der A, B, C und D in den gleichzeitig zu erfüllenden Gleichungen (5) nicht 0 sind, muß die durch die Koeffizienten erzeugte Determinante den Wert 0 haben. Genauer gesagt, muß das folgende gelten:

$$[L - \cos(aL)] - (aL/2) \sin(aL) = 0 \quad (6)$$

Eine Modifizierung hierzu ist die folgende:

$$2 \sin(aL/2) \cdot \cos(aL/2) [\tan(aL/2) - (aL/2)] = 0$$

Wenn  $\sin(aL/2) = 0$  ist, gilt:

$$aL/2 = n\pi \quad aL = \sqrt{(W/EI)} L$$

W habe den Wert W<sub>c</sub> (Ausbeulbelastung). Dann gilt:

$$W_c = (4n^2\pi^2/L^2)EI \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (7)$$

Wenn  $\cos(aL/2) = 0$ ,  $A = B = C = D = 0$  und  $\tan(aL/2) - aL/2 = 0$  gelten, wird eine Lösung höheren Grads der Gleichung (7) erhalten. Daher ist nur die Gleichung (7) bei der Entstehung einer Ausbeulung zu berücksichtigen.

Durch Lösen der Gleichung (5) ergibt sich  $A = C = 0$ ,  $B = -D$ . Die die Biegeauslenkung repräsentierende Gleichung ist die folgende:

$$y = D[1 - \cos(2n\pi x/L)] = (D/2) \sin^2(n\pi x/L) \quad (8)$$

Dies gilt gemäß Gleichung (4). D ist unbestimmt.

Dieses Ergebnis kann wie folgt verstanden werden. Wenn die Belastung W kleiner als W<sub>c</sub> ist, wird der Stab nur in vertikaler Richtung zusammengedrückt. Es existiert keine Auslenkung in der Richtung x. Wenn die Belastung W den Wert W<sub>c</sub> hat, tritt die durch die Gleichung (8) definierte Auslenkung auf. Da jedoch der Wert D in der

Gleichung (8) unbestimmt ist, kann die Auslenkung  $y$  einen beliebigen Wert einnehmen. Wenn der Stab durch Wärmeausdehnung ausgebeult wird, wie bei der Erfindung, wird an jedem Ende einer der Ausbeulbelastung  $W_c$  entsprechende Belastung erzeugt.

Die erzielte mechanische Energie wird so berechnet, wie es im folgenden dargelegt ist, wenn die Temperatur des sich an beiden Enden befestigten ausbeulenden Körpers 10 um  $t^\circ\text{C}$  erwärmt wird, um so ausgelenkt zu werden, wie es durch die gestrichelte Linie in Fig. 1B dargestellt ist, um Tinte auszugeben.

Wenn die Temperatur des sich ausbeulenden Körpers 10 um  $t^\circ\text{C}$  erhöht wird, wird er in Richtung seiner Achse zusammengedrückt. Wenn die Belastung an seinen beiden Enden größer als die Ausbeulbelastung  $W_c$  wird, wird der sich ausbeulende Körper 10 in der durch die gestrichelte Linie in Fig. 1B angegebenen Richtung ausgelenkt. Auf diese Auslenkung hin erreicht die Belastung an jedem Ende schließlich die Ausbeulbelastung  $W_c$ . Die nach außen freigesetzte Energie  $U_d$  entspricht der elastischen Energie  $U_z$  bei Kompression in vertikaler Richtung vermindert um die elastische Energie  $U$ , wenn der Stab gemäß der Gleichung (8) verformt wird. Genauer gesagt, gilt für die Ausstoßenergie:

$$U_d = U_z - U.$$

Die Kompression in vertikaler Richtung kann in zwei Stufen unterteilt werden. Für die erste Stufe ist angenommen, daß das Ausmaß der Verformung in vertikaler Richtung, wenn die Belastung  $W$  der Ausbeulbelastung  $W_c$  entspricht, den Wert  $\Delta'$  hat, und eine Zusatzkompression vom Wert  $\Delta$  erzielt wird, wenn die Temperatur weiter erhöht wird. Es wird keine Ausbeulverformung erzielt, wenn  $W < W_c$  gilt. Die im Stab angesammelte elastische Energie  $U_z$  ist die folgende:

$$U_z = W\lambda/2 = (EA\lambda/L) \cdot (\lambda/2) = EA\lambda^2/2L,$$

wobei  $\lambda$  die Dehnung,  $A$  die Querschnittsfläche des Stabs und  $E$  der Youngmodul ist, mit:

$$\lambda = WL/EA, W = EA\lambda/L$$

Mit  $\lambda = \Delta + \Delta'$  gilt dann:

$$U_z = (EA/2L)(\Delta + \Delta')^2 \quad (9)$$

In der zweiten Stufe beinhaltet die Verformungsenergie  $U$  die Kompression des Stabs gerade um  $\Delta'$ , gefolgt von der Erzeugung der Ausbeulung, wodurch sich der Stab um  $\Delta$  verkürzt. Diese Verkürzung um  $\Delta$  durch das Ausbeulen bewirkt eine Abnahme der potentiellen Energie entsprechend der Verkürzung. Der verringerte Wert ist in Form elastischer Energie angesammelt. Deren Wert entspricht der Ausbeulbelastung  $W_c$  multipliziert mit dem verkürzten Abstand  $\Delta$ . Dies, weil dann, wenn ein Ausbeulen auftritt, wie oben beschrieben, der Energiewert bei einer Verformung um  $\Delta$  als  $W_c \cdot \Delta$  ausgedrückt werden kann, da die Belastung an jedem Ende des Stabs den Wert  $W_c$  hat. Daher hat die im Stab nach der Erzeugung der Ausbeulung abgespeicherte elastische Energie  $U$  den folgenden Wert:

$$U = (EA/2L)\Delta'^2 + \Delta W_c \quad (10)$$

Daher wird die nach außen abgegebene Energie  $U_d$  die folgende:

$$\begin{aligned} U_d &= U_z - U \\ &= (EA/2L)(\Delta^2 + 2\Delta\Delta' + \Delta'^2) - (EA\Delta'^2/2L) - \Delta W_c \quad (11) \\ &= (EA\Delta^2/2L) + (EA\Delta\Delta'/L) - \Delta W_c. \end{aligned}$$

Es ist zu beachten, daß der zweite Term der Gleichung (11) dem dritten Term entspricht. Dies, da die folgende Gleichung:

$$EA\Delta\Delta'/L = (EA\Delta/L) \cdot (W_c L/EA) = \Delta W_c \quad (12)$$

Unter Verwendung der Dehnungsgleichung  $\Delta' = W_c L/EA$  erhalten wird, wenn die Belastung den Wert  $W_c$  hat. Daher wird aus der Gleichung (11) die folgende Gleichung:

$$U_d = EA\Delta^2/2L \quad (13)$$

Ferner gilt die folgende Gleichung, da  $\Delta = L\alpha(t - t_c)$  gilt, wobei  $t_c$  die Temperatur beim Auftreten der Ausbeulung ist und  $\alpha$  der Wärmeexpansionskoeffizient ist:

$$U_d = (EAL/2)\alpha^2(t - t_c)^2 \quad (14)$$

Dann wird für  $t_c$  folgendes erhalten, wenn  $b$  die Breite und  $h$  die Dicke des sich ausbeulenden Körpers 10 sind:

$$t_c = (\pi^2/3) \cdot (h^2/L^2) \cdot (1/\alpha) \quad (15)$$

Es wird die elastische Energie  $W = E\Delta L/L = 4\pi^2 EI/L$  oder  $I = bh^3/12$  oder die Verlängerung  $\lambda = \Delta L$  verwendet. Daher wird die folgende Gleichung erhalten:

$$U_d = (E/2)Lbh\alpha^2[t - (\pi^2 h^2/3\alpha L^2)]^2 \quad (16)$$

Gemäß den obigen Ergebnissen ergibt sich das folgende Konzept für das Material (die Form) eines sich ausbeulenden Körpers.

Dieser muß bis auf eine Temperatur über einer Ausbeultemperatur  $t_c$  erwärmt werden, die durch die Gleichung (15) bestimmt ist, um einen Ausbeulvorgang hervorzurufen. Falls nicht, wird der sich ausbeulende Körper ohne Verformung nur in vertikaler Richtung zusammengedrückt. Es wirkt keine Kraft nach außen. Da die Ausbeultemperatur  $t_c$  durch die Form ( $L$  und  $h$ ) und den Wärmeexpansionskoeffizient  $\alpha$  bestimmt wird, ist es erforderlich, den sich ausbeulenden Körper bis auf eine Temperatur über  $t_c$  zu erwärmen. Wenn die Erwärmungstemperatur festgelegt ist, kann die Form des sich ausbeulenden Körpers so ausgewählt werden, wie es nachfolgend für die Erfindung dargelegt ist.

Wenn die Erfindung auf einen Tintenstrahldrucker angewandt wird, ist eine Ausstoßenergie  $U_d$  erwünscht, die so groß wie möglich ist. Hinsichtlich des Materials ist die durch die Gleichung (14) gegebene Energie  $U_d$  proportional zum Youngmodul des Materials sowie proportional zum Quadrat des Wärmeexpansionskoeffizienten  $\alpha$ , wenn die Ausbeultemperatur  $t_c$  gemäß der Gleichung (15) konstant ist. Daher kann gesagt werden, daß für das Material ein größerer Wert von  $E\alpha^2$  erwünscht ist.

Die folgende Tabelle 1 zeigt die Berechnung von  $E\alpha^2$  für hauptsächlich Materialien.

Tabelle 1 (Vergleich von Ausstoßenergien)

| Material | $E \text{ (N/m}^2\text{)} \times 10^{10}$ | $\alpha \text{ (/}^\circ\text{)} \times 10^{-6}$ | $E\alpha^2 \text{ (N/m}^2\text{/}^\circ\text{)}^2$ |
|----------|---|--|--|
| Al       | 7,03                                      | 29   | 59,1   |
| Cu       | 12,98                                     | 20   | 51,9   |
| Ni       | 21,0                                      | 18   | 68,0   |
| W        | 40,27                                     | 4,5  | 8,15   |
| Au       | 7,8                                       | 15   | 17,6   |
| Si       | 17,5                                      | 2,83   | 1,4  |

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß Nickel, Aluminium oder Kupfer gesehen vom Standpunkt der Erzeugungsenergie aus bevorzugte Materialien sind. Da das Energieniveau durch den Youngmodul und den Wärmeexpansionskoeffizient bestimmt ist, können Materialien mit verschiedenen Kombinationen des Youngmoduls und des Wärmeexpansionskoeffizienten verwendet werden. In diesem Fall ist ein Material mit mindestens  $50 \text{ N/m}^2/^\circ\text{}^2$  für  $E\alpha^2$  auf Grundlage der Ergebnisse gemäß Tabelle 1 bevorzugt. Es ist zu beachten, daß die Ausstoßenergie stark durch die Form des sich ausbeulenden Körpers beeinflusst wird, wie es nachfolgend beschrieben wird. Wenn z. B. die Breite um mehr als das zweifache erhöht wird, kann die Energie leicht verdoppelt werden. Daher kann die Ausstoßenergie abhängig von der Form erhöht oder verringert werden. Im allgemeinen ist als Material für die Erfindung ein solches geeignet, das einen Wert für  $E\alpha^2$  hat, der innerhalb von  $\pm 60\%$  des obigen Werts liegt, d. h.  $20-80 \text{ N/m}^2/^\circ\text{}^2$ .

Ein kristallines Silizium hat einen großen Wert der Größe  $E$  und ist dahingehend von Vorteil, daß als Halbleitersubstrat leicht ein Material mit gleichmäßiger Qualität erzielbar ist. Obwohl die Ausstoßenergie klein ist, sind Fehler und Auslenkungen klein. Daher ist einkristallines Silizium als Element für Langzeitbetrieb geeignet, da selbst bei Betrieb über lange Zeit keine Ermüdungserscheinungen auftreten.

Die Fig. 3 und 4 zeigen die Beziehung zwischen der Temperatur und der Ausstoßenergie sich ausbeulender Körper aus Aluminium bzw. Kupfer für verschiedene Abmessungen des sich ausbeulenden Körpers.

Die Fig. 5-7 zeigen ähnliche Beziehungen für einen sich ausbeulenden Körper aus Nickel.

Die Fig. 8 und 9 zeigen die Beziehung zwischen der Heiztemperatur und der Auslenkung bei konstanter Länge und Breite aber variabler Dicke sich ausbeulender Körper aus Aluminium bzw. Kupfer.

Die Fig. 10-12 zeigen die Beziehung zwischen der Heiztemperatur und der Auslenkung, wenn die Länge, die Breite und die Dicke eines sich ausbeulenden Körpers aus Nickel variiert werden.

Hinsichtlich der Form eines sich ausbeulenden Körpers gilt das folgende Konzept. Die Gleichung (16) wird mit  $h$  als Variabler differenziert, und es gilt  $dU_d/dh = 0$ . Es wird der Grenzwert gebildet, um denjenigen Wert von  $h$  zu erhalten, der den Wert  $U_d$  minimal macht. Dann gilt:

$$dU_d/dh = (ELb\alpha^2/2)[t - (\pi^2 h^2/3\alpha L^2)][t - (5\pi^2 h^2/3\alpha L^2)] \quad (17)$$

Daher wird der Maximalwert erhalten, wenn folgendes gilt:

$$h = L \sqrt{(3\alpha t/5)} \cdot (1/\pi), \text{ d.h.} \\ h/L = \sqrt{0,6\alpha t} \cdot (1/\pi) \quad (18)$$

Durch Einsetzen der Gleichung (18) in die Gleichung (15) wird folgendes erhalten:

$$t_c = 0,2t \quad (19)$$

Maximaler Wirkungsgrad wird dann erhalten, wenn die Form, d. h. das Verhältnis Dicke/Länge auf einen Wert eingestellt wird, der durch den Wärmeexpansionskoeffizient  $\alpha$  und die Heiztemperatur  $t$  gemäß Gleichung (18) bestimmt ist. Ferner wird der effektivste Wert dann erhalten, wenn die Ausbeutetemperatur in der Nähe von  $1/5$  der Anstiegstemperatur liegt.

Ein Ergebnisbeispiel ist in Fig. 13 dargestellt. Fig. 13 zeigt die Abhängigkeit der Ausstoßenergie  $U_d$  von der Dicke  $h$ , wenn ein sich ausbeulender Körper aus Nickel eine Länge  $L$  von  $300 \mu\text{m}$  aufweist und die Heiztemperatur  $150^\circ\text{C}$  beträgt. Aus dem Kurvenbild ist erkennbar, daß  $U_d$  in der Nähe von  $h = 4 \mu\text{m}$  seinen Maximalwert hat. Daher ist es bevorzugt, bei den oben angegebenen Bedingungen die Dicke in der Nähe von  $3-5 \mu\text{m}$  einzustellen. Ferner ist es aus der Form der Gleichung (17) und dem bergförmigen Verlauf der Kurve von Fig. 13 erkennbar, daß eine gewünschte Energie von ungefähr 70% des Optimalwerts dann erhalten werden kann, wenn der Bereich der Dicke innerhalb von ungefähr 50% des Optimalwerts ( $2-6 \mu\text{m}$ ) eingestellt wird. Durch Unterdrücken von Dickenschwankungen eines Substrats auf Werte innerhalb von ungefähr  $\pm 50\%$  wird eine Ausgangscharakteristik erhalten, die innerhalb des Bereichs von ungefähr 70% der gewünschten Ausstoßenergie liegt. Durch Einstellen des Konstruktionswerts im Bereich von ungefähr  $\pm 50\%$  ist das Konstruieren eines optimalen Elements möglich.

Es ist bevorzugt, den Wert innerhalb von ungefähr  $\pm 25\%$  des Optimalwerts einzustellen, wenn die Dicke des sich ausbeulenden Körpers genauer ausgewählt werden kann. In diesem Fall besteht der Vorteil, daß ein Element, das näher am Optimalwert liegt, geschaffen ist, das hervorragende Eigenschaften aufweist.

Die Optimalbedingungen können für andere Bedingungen leicht dadurch erhalten werden, daß die Gleichung (18) ausgewertet wird. Die Dicke wird in der Nähe des Optimalwerts eingestellt, und die anderen Bedingungen werden im wesentlichen innerhalb von  $\pm 50\%$ , vorzugsweise  $\pm 25\%$  eingestellt.

Die optimale Dicke abhängig von verschiedenen Bedingungen ist in den folgenden Tabellen 2, 3 und 4 dargestellt.

Tabelle 2

| Optimale Dicke des sich ausbeulenden Körpers |   |                            |                                     |  |
|--|---|----------------------------|-------------------------------------|--|
| Material                                     | Wärmeexpansions-<br>koeffizient<br>( $\times 10^{-6}$ ) | Länge<br>( $\mu\text{m}$ ) | Heiz-<br>temperatur<br>( $^\circ$ ) | Optimale<br>Dicke<br>( $\mu\text{m}$ ) |
| Ni   | 18  | 300                        | 100                                 | 3.13                                   |
|  |   |                            | 150                                 | 3.84                                   |
|  |   |                            | 200                                 | 4.43                                   |
|  |   |                            | 250                                 | 4.96                                   |
|  |   | 600                        | 100                                 | 6.27                                   |
|  |   |                            | 150                                 | 7.68                                   |
|  |   |                            | 200                                 | 8.88                                   |
|  |   |                            | 250                                 | 9.92                                   |
|  |   | 900                        | 100                                 | 9.41                                   |
|  |   |                            | 150                                 | 11.53                                  |
|  |   |                            | 200                                 | 13.31                                  |
|  |   |                            | 250                                 | 14.89                                  |



Tabelle 3

| Optimale Dicke des sich ausbeulenden Körpers |   |                            |                                       |  |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|--|
| Material                                     | Wärmeexpansions-<br>koeffizient<br>( $\times 10^{-6}$ ) | Länge<br>( $\mu\text{m}$ ) | Heiz-<br>temperatur<br>( $^{\circ}$ ) | Optimale<br>Dicke<br>( $\mu\text{m}$ ) |
| Al   | 29  | 300                        | 100                                   | 3.98                                   |
|  |   |                            | 150                                   | 4.88                                   |
|  |   |                            | 200                                   | 5.63                                   |
|  |   |                            | 250                                   | 6.30                                   |
|  |   | 600                        | 100                                   | 7.97                                   |
|  |   |                            | 150                                   | 9.76                                   |
|  |   |                            | 200                                   | 11.27                                  |
|  |   |                            | 250                                   | 12.60                                  |
|  |   | 900                        | 100                                   | 11.94                                  |
|  |   |                            | 150                                   | 14.64                                  |
|  |   |                            | 200                                   | 16.90                                  |
|  |   |                            | 250                                   | 18.89                                  |

Tabelle 4

| Optimale Dicke des sich ausbeulenden Körpers |   |                            |                                       |  |
|--|---|----------------------------|---------------------------------------|--|
| Material                                     | Wärmeexpansions-<br>koeffizient<br>( $\times 10^{-6}$ ) | Länge<br>( $\mu\text{m}$ ) | Heiz-<br>temperatur<br>( $^{\circ}$ ) | Optimale<br>Dicke<br>( $\mu\text{m}$ ) |
| Cu   | 20  | 300                        | 100                                   | 3.30                                   |
|  |   |                            | 150                                   | 4.05                                   |
|  |   |                            | 200                                   | 4.68                                   |
|  |   |                            | 250                                   | 5.23                                   |
|  |   | 600                        | 100                                   | 6.61                                   |
|  |   |                            | 150                                   | 8.10                                   |
|  |   |                            | 200                                   | 9.36                                   |
|  |   |                            | 250                                   | 10.46                                  |
|  |   | 900                        | 100                                   | 9.92                                   |
|  |   |                            | 150                                   | 12.15                                  |
|  |   |                            | 200                                   | 14.03                                  |
|  |   |                            | 250                                   | 15.69                                  |

Aus den obigen Tabellen 2, 3 und 4 ist es erkennbar, daß die optimale Dicke  $h$  innerhalb des Bereichs von 3,13 bis 18,89  $\mu\text{m}$  liegt, wenn ein sich ausbeulender Körper mit einer Länge  $L$  von ungefähr 300–900  $\mu\text{m}$  vorliegt, wie in den Fig. 1A und 1B dargestellt. Daher wird die Dicke  $h$  des sich ausbeulenden Körpers von Fig. 1B vorzugsweise im Bereich von ungefähr 3–20  $\mu\text{m}$  eingestellt. Wünschenswerte Ergebnisse werden dann erhalten, wenn die Dicke  $h$  im Bereich von 3–7  $\mu\text{m}$ , 6–13  $\mu\text{m}$  und 9–19  $\mu\text{m}$  liegt, wenn die Länge  $L$  auf ungefähr 300  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$  bzw. 900  $\mu\text{m}$  eingestellt ist.

Wenn Tintentröpfchen von einem Tintenstrahlkopf ausgestoßen werden, beträgt die kinetische Energie ungefähr  $3,3 \times 10^{-9}$  J, wenn der Durchmesser eines Tintentröpfchens 50  $\mu\text{m}$  beträgt und die Ausstoßrate 10 m/s ist. Daher ist eine Energie von mindestens ungefähr  $10^{-9}$  J erforderlich. In der Praxis ist ein Wert erforderlich, der um eine oder zwei Größenordnungen größer ist als dieser Wert, und zwar wegen Druckverlusten und wegen der Teilchengröße beim Tintenausstoß.

Es ist erwünscht, daß die Heiztemperatur so niedrig wie möglich ist, da die Tintenqualität verschlechtert wird, wenn die Heiztemperatur deutlich über dem Siedepunkt der Tinte liegt.

Ferner ist es erwünscht, daß die Breite  $b$  des in Fig. 1A dargestellten sich ausbeulenden Körpers so klein wie möglich ist, um eine lineare Integration eines Kopfs zum Drucken mit hoher Auflösung zu ermöglichen. Es ist erwünscht, daß die Breite  $b$  des sich ausbeulenden Körpers nicht mehr als 60  $\mu\text{m}$  beträgt, um Druck mit 400 Punkten pro Zoll auszuführen. Wenn die obigen Punkte und die Ergebnisse der Fig. 3–13 berücksichtigt werden, wird ein wünschenswertes Konzept für die Bemessung eines sich ausbeulenden Körpers erhalten. Wenn ein sich ausbeulender Körper z. B. aus Nickel besteht und über eine Breite von 60  $\mu\text{m}$  verfügt, ist eine Heiztemperatur von mindestens 250°C erforderlich, um eine Energie von ungefähr  $10^{-7}$  J bei einer Länge von 300  $\mu\text{m}$  aus Fig. 5 zu erhalten.

Wenn die Breite  $b$  verdoppelt wird, ist es aus Gleichung (16) erkennbar, daß sich auch die Energie verdoppelt. Die Breite  $b$  sollte vom Gesichtspunkt der Integrationsdichte und der erforderlichen Energie her auf einen geeigneten Wert eingestellt werden, und hohe Auflösung und große Energie können erzielt werden, wenn die Breite  $b$  des sich ausbeulenden Körpers im Bereich von 3–100  $\mu\text{m}$  eingestellt wird, wobei die vorstehend genannte Druckauflösung berücksichtigt ist. Es existiert ein Bereich, in dem eine Ausstoßenergie von  $10^{-7}$  J erzielt wird, wenn die Länge  $L$  gemäß dem oben genannten Ergebnis innerhalb des Bereichs von 300–900  $\mu\text{m}$  ausgewählt wird. Die Länge  $L$  des sich ausbeulenden Körpers wird vorzugsweise in diesem Bereich eingestellt. Es kann gesagt werden, daß keine hohe Betriebstemperatur erwünscht ist, wenn Tinte auf Wassergrundlage verwendet wird. Es ist zu beachten, daß dann, wenn Nickel verwendet wird, eine Länge  $L$  mit relativ großem Wert von ungefähr 600–900  $\mu\text{m}$  von Vorteil ist, wie durch die Ergebnisse in den Fig. 6 und 7 dargestellt, um die Heiztemperatur auf das Niveau von 100–150°C zu drücken. Im Gegensatz hierzu kann eine hohe Heiztemperatur eingestellt werden, wenn Tinte mit einem hohem Siedepunkt wie solche auf Ölgrundlage verwendet wird. In diesem Fall kann die Heiztemperatur erhöht werden, um die Größe eines Elements zu verringern.

Was die Auslenkung eines sich ausbeulenden Körpers betrifft, wird dann, wenn ein Wert von 300–900  $\mu\text{m}$  für die Länge  $L$  gewählt wird, eine Auslenkung von 5–30  $\mu\text{m}$  erhalten, wie in den Fig. 8–12 dargestellt. Es ist auch möglich, unter Verwendung der Gleichung (8) für andere Konfigurationen (Breite  $b$  und Dicke  $h$ ) eine entsprechende Auslenkung zu erhalten.

Der Hohlraum 3 für Tinte wird hauptsächlich durch die Abstandshalterschicht 7 gebildet. Diese besteht aus einer Harzschicht wie einer solchen aus Polyimid. Eine durch Auftragen hergestellte Polyimidschicht hat begrenzte Filmdicke; sie kann stabil im Bereich von ungefähr 1 bis einigen 10  $\mu\text{m}$  Filmdicke hergestellt werden. Daher kann durch Auswählen einer Struktur mit einer Dicke von 5–30  $\mu\text{m}$  ein an den Herstellprozeß angepaßter Tintenstrahlkopf mit geringen Kosten hergestellt werden. Daher ist es erwünscht, die Auslenkung des sich ausbeulenden Körpers 10 im Bereich von 10 bis einigen 10  $\mu\text{m}$  zu konzipieren.

Demgemäß kann gemäß der Erfindung ein Tintentröpfchen ausstoßender Tintenstrahlkopf unter Verwendung des sich ausbeulenden Körpers 10 mit optimalen Werten konzipiert werden. Die Ausbildung eines sich ausbeulenden Körpers als Antriebsquelle schafft auch den Vorteil, daß Ansteuerung mit hoher Geschwindigkeit erzielt wird. Im Gegensatz zum herkömmlichen Biegezustand eines Stabs ist ein Ausbeulzustand instabil. Genauer gesagt, wird dann, wenn die Kompressionsspannung den Wert  $W_c$  überschreitet, der Stab plötzlich in einen gebogenen Zustand überführt, ausgehend vom Zustand, in dem Kompression in vertikaler Richtung wirkt, wenn nämlich das Kräftegleichgewicht verloren geht. Daher zeigt ein erwärmter, sich ausbeulender Körper plötzliche Verformung, wenn die Ausbeultemperatur überschritten ist.

Dies unterscheidet sich vom Fall, bei dem ein Bimetall als Antriebsquelle verwendet wird. Die Verformung eines Bimetalls wird ausschließlich durch die Temperatur bestimmt. Die Verformungsgeschwindigkeit kann die Aufheizgeschwindigkeit des Bimetalls nicht überschreiten. Dies unterscheidet sich ganz besonders von einem Ausbeulen. Der Betrieb kann unter Verwendung eines Ausbeulvorgangs mit höherer Geschwindigkeit als unter Verwendung eines Bimetalls als Antriebsquelle ausgeführt werden.

Ferner erfordert die Verwendung eines Bimetalls, daß mindestens zwei Schichten aus verschiedenen Materialien aufeinandergestapelt werden. Dies erfordert einen komplizierteren Herstellschritt, was zu einer Erhöhung der Herstellkosten führt. Wenn ein Ausbeulvorgang verwendet wird, ist nur eine Art Material erforderlich und die Herstellung kann mit einem einzigen Prozeßschritt erfolgen.

In der folgenden Tabelle 5 sind beispielhafte Konstruktionswerte für einen optimierten sich ausbeulenden Körper angegeben.

Tabelle 5 (Konstruktionsbeispiel für einen sich ausbeulenden Körper)

| Länge L<br>( $\mu\text{m}$ ) | Breite b<br>( $\mu\text{m}$ ) | Dicke h<br>( $\mu\text{m}$ ) | Heiztempe-<br>ratur ( $^{\circ}$ ) | Ausstoß-<br>energie<br>(J) | Maximale<br>Auslenkung<br>( $\mu\text{m}$ ) |    |
|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---|----|
| 300                          | 60                            | 5                            | 250                                | $\approx 10^{-7}$          | $\approx 10$                                | 5  |
| 600                          | 60                            | 6                            | 140                                | $\approx 10^{-7}$          | $\approx 18$                                | 10 |
| 900                          | 60                            | 9                            | 100                                | $\approx 10^{-7}$          | $\approx 22$                                | 15 |

Das in den Fig. 1A–1C hergestellte Element kann durch die durch die Fig. 14A–14F veranschaulichten Schritte hergestellt werden. 20

Gemäß Fig. 14A werden beide Oberflächen eines Substrats 1 aus einkristallinem Silizium einer Oxidation unter Wärme unterworfen, was zur Ausbildung eines Oxidfilms 21 führt. Auf jedem Oxidfilm 21 wird durch Sputtern oder Dampfniederschlagung ein Ni-Film 23 hergestellt. Dann wird mittels eines Photoresists 24 ein Rahmen ausgebildet. 25

Gemäß Fig. 14B wird mit einem Ni-Film 23 als leitendem Film eine Ni-Überzugsschicht 25 hergestellt. Da die Dicke des sich ausbeulenden Körpers von der Dicke dieser Überzugsschicht 25 aus Ni abhängt, ist es erforderlich, diese Dicke so zu optimieren, wie es vorstehend beschrieben wurde. Genauer gesagt, wird die Dicke des sich ausbeulenden Körpers in der Nähe von 4–5  $\mu\text{m}$  eingestellt, wenn seine Länge 300  $\mu\text{m}$  beträgt und die Heiztemperatur 150 $^{\circ}\text{C}$  ist, wie in Fig. 13 dargestellt. Daher muß der Photoresist 24 mindestens eine Dicke von 4–5  $\mu\text{m}$  haben. Die Dicke des Ni-Films 23, der ein Teil des sich ausbeulenden Körpers wird, ist so gering, daß hierzu keine spezielle Beschreibung erfolgt. In Fig. 14B ist (b-2) eine Schnittansicht entlang der Linie X-X' von (b-1). 30

Gemäß Fig. 14C wird der Photoresist 24 entfernt. An der Rückseite des Oxidfilms 21 wird durch Photolithographie, Ionenätzen oder dergleichen eine Öffnung ausgebildet. Das Substrat 1 wird mit einem KOH enthaltenden Ätzmittel anisotrop geätzt. Im Ergebnis wird ein Tintenzuführloch 27 ausgebildet. (c-2) zeigt eine Schnittansicht zu (c-1) entlang der Linie Y-Y'. 35

Gemäß Fig. 14D wird ein Oxidfilm 21 unter Verwendung von Fluor geätzt, um den Bereich unter der Ni-Überzugsschicht 25 zu entfernen, die ein sich ausbeulender Körper wird. Der Oxidfilm 21 dient hier als verlorene Schicht.

Gemäß Fig. 14E wird Polyimidharz aufgetragen. Mittels Photolithographie wird ein Musterungsschritt ausgeführt, um die Abstandshalterschicht 7 herzustellen. Hierbei muß die Höhe des Hohlraums 3 größer sein als das Ausmaß der Auslenkung des sich ausbeulenden Körpers, da diese durch die Dicke der Abstandshalterschicht 7 und der Klebeschicht 8, die nachfolgend beschrieben wird, bestimmt wird. Jedoch verringert ein übermäßig großer Wert den Ausstoßwirkungsgrad, und die Herstellung ist dann schwierig. Daher sollte der Wert auf ungefähr 1–50  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise auf ungefähr 4–30  $\mu\text{m}$  eingestellt sein. 40

Gemäß Fig. 14F wird eine Düsenplatte 5 mit einer vorab ausgebildeten Düsenöffnung 6 durch eine dazwischenliegende Klebeschicht 8 an der Abstandshalterschicht 7 befestigt. 45

Durch den vorstehend beschriebenen Prozeß kann ein Element auf einem Siliziumsubstrat 1 mittels Halbleitertechnologie hergestellt werden. Kritische Muster können einfach ausgebildet werden, was eine Erhöhung der Integrationsdichte von Elementen ermöglicht. Ferner ist Massenherstellung von Elementen zu geringen Kosten möglich, da gleichzeitig eine Gruppe von Elementen auf einem Substrat 1 hergestellt werden kann. Es können Elemente mit geringeren Schwankungen der Eigenschaften hergestellt werden, da die Dicke der als sich ausbeulender Körper dienenden Ni-Überzugsschicht 25 genauer hergestellt werden kann. Ferner kann ein Element mit hoher Resonanzfrequenz und hohem Ansprechverhalten geschaffen werden, da der sich ausbeulende Körper 10 mit kompakten und genauen Abmessungen hergestellt werden kann. 50

Wenn der sich ausbeulende Körper als Antriebsquelle verwendet wird, kann er durch einen Schichttyp hergestellt werden. Dies ist von großem Vorteil gegenüber dem Fall, bei dem ein Bimetall oder ein piezoelektrisches Element verwendet wird, was jeweils eine Mehrschichtstruktur erfordert. Wenn ein Bimetall verwendet wird, müssen verschiedene Arten von Material übereinandergeschichtet werden. Wenn ein piezoelektrisches Element verwendet wird, müssen Elektroden mit einem Isolierfilm zu deren elektrischen Isolation hergestellt werden. Eine Mehrschichtstruktur erfordert mehrere Bearbeitungsschritte. Es bestehen auch verschiedene Schwierigkeiten hinsichtlich der Haftfestigkeit, des Abschälens, elektrolytischen Ätzens sowie elektrischer Kurzschlüsse zwischen den Schichten. Die Kompliziertheit des Herstellprozesses ist extrem erhöht und die Herstellausbeute ist verringert. 55

Demgemäß ist die Verwendung eines sich ausbeulenden Körpers von deutlichem Vorteil. 60

Die Ausstoßenergie  $U_d$  gemäß Gleichung (16) ist proportional zu  $Lbh$ , d. h. zum Volumen des sich ausbeulenden Körpers. Dies bedeutet, daß ein größerer sich ausbeulender Körper erforderlich ist, wenn die Ausstoßenergie erhöht werden muß. Jedoch kann, wie zuvor beschrieben, die Breite  $b$  wegen des Gesichtspunkts einer 65

Erhöhung der Integrationsdichte der Elemente nicht stark erhöht werden. Die Dicke  $h$  ist durch die Gleichung (15) bestimmt. Eine Erhöhung der Dicke  $h$  bewirkt eine höhere Ausbeultemperatur  $t_0$ , was bedeutet, daß die Heiztemperatur erhöht werden muß. Daher ist es am wirksamsten, die Länge  $L$  zu erhöhen.

- Jedoch bewirkt eine Erhöhung der Länge  $L$  eine Erhöhung der Auslenkung, wie in den Fig. 10–12 dargestellt. Obwohl eine zweckentsprechende Zunahme der Auslenkung zum Tintenausstoß wirksam ist, erfordert ein zu große Auslenkung eine Erhöhung der Dicke der Abstandshalterschicht 7 in Fig. 1. Dies bedeutet, daß das Polyimidharz zum Herstellen der Abstandshalterschicht 7 dick aufgetragen werden muß und der Musterungsschritt genau ausgeführt werden muß. Daher ist es nicht erwünscht, die Dicke der Abstandshalterschicht 7 zu erhöhen. Es besteht auch die Möglichkeit einer Erniedrigung der Resonanzfrequenz und des Ansprechverhaltens des sich ausbeulenden Körpers 10, wenn die Länge  $L$  erhöht wird. Daher ist es erforderlich, die Länge  $L$  gering zu halten und die Energie  $U_d$  zu erhöhen.

Das durch die Fig. 15A und 15B veranschaulichte zweite Ausführungsbeispiel wendet sich dieser Schwierigkeit zu.

#### Zweites Ausführungsbeispiel

- Bei diesem zweiten Ausführungsbeispiel handelt es sich um einen langen sich ausbeulenden Gesamtkörper 60 mit drei sich ausbeulenden Körpern 60a, 60b, 60c, deren beide Enden in Längsrichtung aufeinanderfolgend jeweils mit einem Substrat 1 verbunden sind, wobei der mittlere Bereich in der Luft liegt. An jeder Grenze zwischen den sich ausbeulenden Körpern 60a, 60b und 60c ist ein breiter Abschnitt vorhanden, um als Knoten beim Ausbeulvorgang zu wirken. Ähnlich wie in den Fig. 1A, 1B und 1C ist in der Draufsicht von Fig. 15 kein Substrat 1 dargestellt. Der sich ausbeulende Gesamtkörper 60 ist in einem langen Hohlraum 3 untergebracht. Es ist zu beachten, daß eine Düsenöffnung 3 für drei Tintenzuführlöcher 4a, 4b und 4c vorliegt. Dies ermöglicht eine Erhöhung der Ausstoßenergie ohne Erhöhung der Breite  $D$  eines Elements.

- Der sich ausbeulende Gesamtkörper 60 wird durch Zuführen eines Stroms über die Elektroden 61a und 61b an den beiden Enden erwärmt. Dabei dehnt er sich aus und wird so verformt, wie es durch die gestrichelte Linie in Fig. 15B dargestellt ist. Der Hohlraum 3 wird über die Zuführlöcher 4a–4c mit Tinte befüllt. Eine Druckzunahme durch diese Verformung sorgt dafür, daß Tinte aus der in der Düsenplatte 5 vorhandenen Düsenöffnung 6 ausgestoßen wird. Tintentröpfchen werden auf ein nicht dargestelltes Blatt ausgegeben, um ein Zeichen oder ein Bild auszudrucken.

- Das in den Fig. 15A und 15B dargestellte Element kann durch Herstellschritte hergestellt werden, die mit denen übereinstimmen, die in den Fig. 14A–14F dargestellt sind. Der Hohlraum 3 wird mittels einer Abstandshalterschicht 7 aus Polyimidharz gebildet. Die Düsenplatte 5 wird daran mit der dazwischenliegenden Klebschicht 8 befestigt.

- Gemäß der vorstehend genannten Struktur kann die Ausstoßenergie  $U_d$  erhöht werden, während die Länge jedes Abschnitts im sich ausbeulenden Gesamtkörper 60 gering gehalten wird. Da drei sich ausbeulende Körper, wie in den Fig. 15A und 15B dargestellt, beim vorliegenden Ausführungsbeispiel vorhanden sind, ist die Ausstoßenergie das Dreifache derjenigen, wie sie mit nur einem sich ausbeulenden Körper erzielt werden kann. Ferner ist die Resonanzfrequenz hoch und es kann schnelles Ansprechen erzielt werden, da die Länge jedes sich ausbeulenden Körpers 60a, 60b und 60c klein ist. Die Integration von Elementen ist erleichtert, da die Breite jedes Elements auf diejenige gemäß Fig. 1 eingestellt werden kann. Demgemäß ist ein Drucker mit hoher Auflösung erzielbar. Das Ausmaß der Auslenkung des sich ausbeulenden Gesamtkörpers 60, wie sie durch die gestrichelte Linie in Fig. 15B angedeutet ist, ist verringert, da die Länge klein ist. Es ist nicht erforderlich, die Dicke der Abstandshalterschicht 7 übermäßig zu erhöhen, und der Herstellprozeß ist vereinfacht.

- Die Erfindung ist nicht auf das vorstehende Ausführungsbeispiel beschränkt, bei dem drei sich ausbeulende Körper 60a–60c miteinander verbunden sind. Die Anzahl sich ausbeulender Körper ist beliebig wählbar.

#### Drittes Ausführungsbeispiel

- Gemäß Fig. 16 ist ein Tintenzuführloch 102 rechtwinklig zur Oberfläche eines einkristallinen Siliziumsubstrats 101 vorhanden. Ein Kolben 103 ist in einem Tintenzuführloch 102 vorhanden, und er kann sich vertikal zum Substrat 1 entlang einer Wandfläche 104 bewegen. Ein Spalt 105 zwischen dem Kolben 103 und der Wandfläche 104 der Tintenzuführöffnung 102 ist im Bereich von ungefähr 0,05–5  $\mu\text{m}$  eingestellt. Der Kolben 103 ist einstückig auffixierte und unterstützte Weise mit einem sich ausbeulenden Körper 106 verbunden.

- Die beiden Endabschnitte des sich ausbeulenden Körpers 106 sind über jeweilige Befestigungsabschnitte 107 am Substrat 101 befestigt. Der restliche Abschnitt des sich ausbeulenden Körpers 106 wird nicht gehalten, sondern er wird in schwebendem Zustand unter Einhaltung eines Spalts 108 zum Substrat 101 gehalten. An der Rückseite des Endabschnitts des sich ausbeulenden Körpers 106 ist eine Heizerschicht 109 über jeweilige obere Isolierschichten 110 vorhanden. Eine untere Isolierschicht 111 ist an der Rückseite der Heizerschicht 109 vorhanden, um für elektrische Isolierung zu sorgen und um Oxidation, Verschlechterung, Korrosion hinsichtlich des sich ausbeulenden Körpers 106 zu verhindern. Ein Oxidfilm 112 aus  $\text{SiO}_2$  ist an jeder Oberfläche des Substrats 101 ausgebildet. Es ist nicht erforderlich, die untere Isolierschicht 111 über die gesamte Länge des sich ausbeulenden Körpers 106 auszubilden, wie in Fig. 16 dargestellt. Es muß zumindest die Heizerschicht 109 durch die Isolierschicht 111 bedeckt sein.

- Der Heizerschicht 109 wird ein elektrisches Signal über eine Verbindungsschicht 113 zugeführt, um den sich ausbeulenden Körper 106 zu beheizen. Obwohl der sich ausbeulende Körper 106 durch Energiezufuhr erwärmt werden könnte, ist diese Vorgehensweise bevorzugt.

Am fixierten Abschnitt 107 an den beiden Enden des sich ausbeulenden Körpers 106 sowie in der Nähe

desselben ist eine Klebeschicht 114 vorhanden. Daran ist eine Öffnungsplatte 115 befestigt. Ein von der Klebeschicht 114 umschlossener Hohlraum 117 ist mit Tinte befüllt. In der Mündungsplatte 115 ist eine Düse 116 vorhanden, aus der Tinte ausgestoßen wird. Nachfolgend wird der Betrieb des Elements von Fig. 16 beschrieben.

Bei einem Betriebsmodus dieses Elements wird Tinte durch das Tintenzuführloch 102 in den Hohlraum 117 geführt. Der Hohlraum 117, die Spalte 108 und 105 sowie das Tintenzuführloch 102 sind alle mit Tinte gefüllt.

Die Heizerschicht 109 wird mit einem impulsförmigen Strom von einer (nicht dargestellten) externen Spannungsquelle versorgt, um schnell erwärmt zu werden. Dadurch wird auch der in Kontakt mit der Heizerschicht 109 stehende sich ausbeulende Körper 106 schnell erwärmt, wodurch er Wärmeausdehnung erfährt. Da beide Enden des sich ausbeulenden Körpers 106 durch die jeweiligen Fixierabschnitte 107 am Substrat 101 befestigt sind, führt diese Wärmeexpansion zu Kompressionsspannungen innerhalb des sich ausbeulenden Körpers 106. Wenn diese Kompressionsspannungen eine bestimmte Grenze übersteigen, wird der sich ausbeulende Körper 106 in der Richtung zum Substrat 101, wie durch die gestrichelte Linie in Fig. 16 angegeben, verformt (ausgebeult). Daraufhin läuft der einstückig mit dem sich ausbeulenden Körper 106 ausgebildete Kolben 103 in die durch die gestrichelte Linie angegebene Position.

Hierdurch ändert sich durch die Bewegung des Kolbens 103 das Volumen des Hohlraums 117 um einen Wert, wie er durch den schraffierten Bereich 118 in Fig. 16 angedeutet ist. Diese Volumenänderung kann durch die Verformung des sich ausbeulenden Körpers 106 hervorgerufen durch das schnelle Erwärmen der Heizerschicht 109 plötzlich auftreten. Dadurch steigt der Druck im Hohlraum 117 plötzlich an, wodurch Tinte aus der Düse 116 ausgestoßen wird.

Wenn der Impulsstrom zur Heizerschicht 109 weggenommen wird, kühlt der sich ausbeulende Körper 106 ab und kehrt in seinen vorigen Zustand zurück. Hierbei wird Tinte entsprechend der abgegebenen Menge vom Tintenzuführloch 102 durch den Spalt 105 in den Hohlraum 117 geliefert. Durch erneutes Anlegen eines Stromimpulses an die Heizerschicht 109 wird erneut Tinte ausgestoßen.

Der Kolbenbetrieb ist in den Fig. 24A und 24B detaillierter dargestellt. Es ist der Zustand des sich ausbeulenden Körpers 106 vor und nach einer Verformung dargestellt. Der sich ausbeulende Körper 106 erfährt durch Erwärmung Wärmeexpansion, wodurch eine Ausbeulverformung auftritt, wie in Fig. 24B dargestellt. Der Kolben 103 wird rechtwinklig zum Substrat 101 angetrieben. Tinte wird so ausgestoßen, wie es in den Fig. 27A und 27B dargestellt ist, wobei der sich ausbeulende Körper Zustände vor bzw. nach seiner Verformung hat. Die Verformung des sich ausbeulenden Körpers bewirkt, daß der Kolben 103 rechtwinklig zum Substrat 101 angetrieben wird, wodurch der Druck im Hohlraum 117 steigt, was zum Ausstoßen eines Tintentröpfchens führt.

Die folgenden Punkte sind zu beachten, um das Ausstoßen von Tinte mit hohem Wirkungsgrad auszuführen.

(1) Wenn Tinte mittels einer Verstellung des Kolbens 103 ausgestoßen wird, muß die Änderung des Volumens 118 mehr als das 2- bis 3fache des Volumens eines auszustößenden Tintentröpfchens sein. Obwohl ein größerer Kolben 103 bevorzugt ist, muß ein zweckentsprechender Wert ausgewählt werden, um eine Zunahme der Gesamtgröße des Kopfs zu verhindern. Für einen Drucker ist eine Auflösung von 300–600 dpi (dot per inch = Punkte pro Zoll; 1 Zoll = 25,4 mm) erforderlich. Durch Anordnen von Düsen mit diesem Intervall kann ein integral ausgebildeter Kopf hergestellt werden. Daher ist die Querbreite des Kopfs wünschenswerterweise kleiner als 80–40 µm. Wenn die Länge des Kolbens 103 300–600 µm beträgt und der Durchmesser eines Tintentröpfchens ungefähr 40 µm beträgt, ist eine Auslenkung von mindestens 5–6 µm erforderlich. Wenn die Länge des im sich ausbeulenden Körper 106 zu erwärmenden Abschnitts (die Länge eines Endabschnitts ausschließlich des Kolbens 103) 300 µm beträgt, kann eine Auslenkung von 5–20 µm abhängig von der Dicke und dem Temperaturanstieg erzielt werden. Daher kann Tinte ausgestoßen werden.

Es kann ein Kopf mit kleiner Integration und hoher Auflösung erhalten werden, wenn der Kolben 103 eine Länge von 300 µm, eine Breite von 50 µm und eine Dicke von 50 µm hat.

(2) Wenn Tinte auf eine Verstellung des Kolbens 103 ausgestoßen wird, wird auf die Tinte im Hohlraum 117 Druck ausgeübt, wodurch sie durch die Düse 116 ausgestoßen wird. Gleichzeitig tritt eine Gegenströmung von Tinte zum Zuführloch 102 über den Spalt 105 auf. Daher sollte der Spalt 105 so eng wie möglich sein. Wenn er jedoch zu eng ist, reicht die Zufuhr von Tinte zum Hohlraum 117 nicht aus, wenn der Kolben in seine vorige Position zurückkehrt. Es muß ein zweckentsprechender Spalt ausgewählt werden, um zu verhindern, daß Luft über die Düse 116 in den Hohlraum 117 eindringt, was zu fehlerhaftem Betrieb führen würde.

Eine Gegenströmung von Tinte kann zum Ausführen eines wirkungsvollen Tintenausstoßvorgangs verhindert werden, wenn der rechtwinklig zum Substrat 101 vorhandene Spalt 105, wie beim vorliegenden Ausführungsbeispiel dargestellt, auf nicht mehr als 5 µm, vorzugsweise 1–0,05 µm eingestellt ist. Der Spalt 105 ist rechtwinklig zum Substrat 101 vorhanden, um eine Änderung der Eigenschaften dadurch zu vermeiden, daß selbst dann, wenn der Kolben 103 angetrieben wird, keine Änderung des Spalts 105 auftritt.

Das Anbringen des Spalts 105 rechtwinklig zum Substrat 101 sorgt auch für den Vorteil, daß der Tintengegenströmungswiderstand (Kanalwiderstand) leicht erhöht werden, um zuverlässiger eine Tintengegenströmung zu verhindern, was durch Erhöhen der Länge des Substrats 105 in bezug auf das Substrat 101, d. h. die Dicke des Kolbens 103, erfolgt. Die Dicke des Kolbens sollte größer sein als sein Hub. Er verfügt über eine Dicke von mindestens 5 µm, vorzugsweise nicht unter 20 µm.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 17A–17F werden Herstellschritte für die Elemente des ersten bis dritten Ausführungsbeispiels beschrieben.

Gemäß Fig. 17A wird ein Oxidfilm 112 auf den beiden Flächen eines Substrats 101 hergestellt. Dann wird der Oxidfilm 112 einem Musterungsvorgang unterzogen, um ein Fenster herzustellen, gefolgt von einem anisotropen Ätzvorgang unter Verwendung von KOH-Lösung. Unter Verwendung eines Substrats 101 mit einer (110)-Kristallebene an der Oberfläche schreitet der Ätzvorgang in der Richtung rechtwinklig zum Substrat 101 fort, wobei eine (111)-Ebene mit geringer Ätzrate verbleibt. An den beiden Oberflächen werden konkave Bereiche 203-a und 203-b ausgebildet. Daher kann ein Spalt 105, der wirkungsvoll eine Gegenströmung von Tinte

verhindert, genau hergestellt werden. Der verbliebene Abschnitt 212, der zwischen den konkaven Abschnitten 203-a und 203-b eingebettet ist, wird der Ausgangsabschnitt für die Herstellung des Kolbens 103.

Gemäß Fig. 17B wird eine verlorene Schicht 204 hergestellt. Diese wird schließlich durch einen Ätzvorgang im letzten Schritt zum Herstellen der in Fig. 16 dargestellten Spalte 105 und 108 entfernt. Das Material der verlorenen Schicht 204 kann aus der aus Aluminium, Siliziumdioxid, einem Photoresist und einem Polyimidharz bestehenden Gruppe ausgewählt werden. Eine verlorene Schicht aus Aluminium oder Siliziumdioxid kann durch Aufdampfen, Sputtern oder CVD hergestellt werden. Dann wird der Kolben 103 durch Metallbeschichtung im oberen konkaven Abschnitt 203-a ausgebildet. Genauer gesagt, wird eine leitende Schicht (z. B. aus Ni, Ta, Ag), die die gesamte untere Schicht bildet, vor einem Beschichtungsvorgang mit einer Dicke von 0,01–1 µm hergestellt. Dann wird der nicht zu beschichtende Abschnitt mit einem Photoresist abgedeckt und eine Beschichtung wird auf den restlichen Bereich aufgetragen. In diesem Fall ist es wirkungsvoll, das Substrat 101 zu drehen oder einen Film aus einer schrägen Richtung während der Herstellung einer leitenden Schicht aufzuwachsen, um eine Unterbrechung der leitenden Schicht hervorgerufen durch eine Ecke 217 des konkaven Bereichs 203-a zu verhindern. Es ist besonders wirkungsvoll, ein CVD-Filmwachstumsverfahren zu verwenden, das hervorragende Stufenüberdeckung aufweist. Der Kolben 103 wird bis zu einer Höhe ausgebildet, die im wesentlichen mit der Oberfläche des Substrats 101 identisch ist. Der Kolben 103 besteht aus einem Material mit Ni, Cu, Co, P und S oder einer Legierung hieraus.

Unter Verwendung von Aluminium für die verlorene Schicht 204 kann ein Vakuumaufdampf- und Sputterverfahren verwendet werden, um die Herstellung einer dünnen verlorenen Schicht zu erleichtern. Da ein Ätzvorgang leicht ausgeführt werden kann, kann auf einfache Weise ein kleines, feines Muster hergestellt werden. Die Verwendung von Aluminium als verlorene Schicht 204 sorgt auch für den Vorteil, daß ein Ätzvorgang erleichtert ist, ohne daß Rückstände im Inneren des dünnen Spalts zurückbleiben. Die Herstellung einer dünnen verlorenen Schicht ist eine starke Maßnahme zum zuverlässigen Verhindern einer Tintengegenströmung.

Die Verwendung von Ni als Material für den Kolben 103 sorgt für den Vorteil, daß die Beschichtung einfach ausgeführt werden kann und daß ein Film mit geringen Innenspannungen leicht hergestellt werden kann.

Gemäß Fig. 17C werden die untere Isolierschicht 111, die Heizerschicht 109 und dann die obere Isolierschicht 110 hergestellt.

Als Materialien für die obere und untere Isolierschicht 110 und 111 können Oxide wie  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Nitride wie  $\text{SiN}$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{TaN}$ ,  $\text{MoN}$  sowie Carbide wie  $\text{SiC}$  verwendet werden.

Als Material für die Heizerschicht 109 können Ni, Co, Cr, Hf, Mo, Ta oder Legierungen daraus verwendet werden. Die Heizerschicht 109 kann zickzack- oder sägezahnförmig hergestellt werden, um ihre Länge zu erhöhen, wodurch der Widerstand erhöht wird, was den Stromverbrauch verringert.

Wenn die verlorene Schicht 204 auf der Heizerschicht 109 ausgebildet wird, bewahrt die Heizerschicht 109 den schwebenden Zustand über dem Substrat 101, wie in Fig. 16 dargestellt. Daher entweicht während des Erwärmens nur wenig Wärme zum Substrat 101, was den Stromverbrauch erniedrigt.

Gemäß Fig. 17D werden der sich ausbeulende Körper 106 und das Zwischenbindungsmuster 210 durch Beschichten hergestellt. Dieser Beschichtungsprozeß beinhaltet einen Schritt zum Herstellen eines Musters aus einem Photoresist auf einem Bereich 211, in dem keine Beschichtung erforderlich ist, woraufhin der Resist nach dem Beschichten entfernt wird. Das Zwischenbindungsmuster 210 wird so hergestellt, daß es für eine Verbindung zur Heizerschicht 109 sorgt. Als Material für den sich ausbeulenden Körper 106 kann ein solches verwendet werden, das Ni, Cu, Co, P oder S oder eine Legierung hieraus enthält.

Ni, Cu und Co sind besonders bevorzugt, da sie einen hohen Wärmeexpansionskoeffizient und Youngmodul aufweisen. Die elastische Energie, wie sie sich im ausbeulenden Körper ansammelt, kann erhöht werden, um eine größere Ausstoßenergie zu erzielen. Wenn eine Legierung hieraus verwendet wird, verbessert sich die Festigkeit des sich ausbeulenden Körpers 106, was dessen Lebensdauer erhöht. Wenn der Youngmodul weiter erhöht wird, wird höhere elastische Energie erzielt. Daher kann die Ausstoßenergie weiter erhöht werden.

Gemäß Fig. 17E wird das wie oben beschrieben behandelte Substrat 101 für einen anisotropen Ätzvorgang ganz in KOH-Lösung eingetaucht, wodurch der Restabschnitt 212 entfernt wird. Wenn für die verlorene Schicht 204 Aluminium verwendet ist, läuft der Ätzvorgang für das Aluminium gleichzeitig mit dem anisotropen Ätzen ab. Dies bedeutet, daß die verlorene Schicht 204 gleichzeitig entfernt wird. So kann der Herstellprozeß vereinfacht werden.

Gemäß Fig. 17F wird eine Öffnungsplatte 115 mit einer Düse 116 am Substrat 101 mittels einer Klebeschicht 114 befestigt. Für die Klebeschicht 114 kann ein durch Ultraviolettstrahlung härthbarer Klebstoff, ein thermisch härthbarer Klebstoff oder dergleichen verwendet werden.

Gemäß Fig. 18 wird die Klebeschicht 114 mit einer Form ausgebildet, wie sie durch einen schraffierten Bereich angegeben ist. Im Ergebnis entsteht der Hohlraum 117. Der Heizer 109 wird über den Abschnitt unter dem fixierten Abschnitt 107 mit der Heizerschicht verbunden, die unter dem sich ausbeulenden Körper 106 liegt. Die Heizerschicht 109 ist mit der Zwischenbindungsschicht 113 verbunden. Der sich ausbeulende Körper 106 ist mit Spalten 301 in einer Nickelbeschichtungsschicht ausgebildet.

Die Höhe einer Fläche 216, in der die Klebeschicht 114 ausgebildet ist, wie in Fig. 17F dargestellt, ist im wesentlichen über das gesamte Substrat 101 gleich. Obwohl die Oberfläche 216 einen Abschnitt aufweist, in dem sie teilweise höher ist, kann sie mit vernachlässigbarem Niveau ausgebildet werden, wenn die Dicke der Heizerschicht 109 sowie der oberen und unteren Isolierschicht 110 und 111 verringert wird. Beim ersten Ausführungsbeispiel ist die Dicke der Klebeschicht 114 auf 10–50 µm eingestellt, da dieser Abstand als Höhe für den Hohlraum 117 erforderlich ist. Demgegenüber ist die Dicke der Heizerschicht 109 sowie der oberen und der unteren Isolierschicht 110 und 111 jeweils auf ungefähr 0,1–1 µm eingestellt. Bei der Erfindung sorgt eine dünnere Heizerschicht für bessere Wärmeleitung in bezug auf den sich ausbeulenden Körper. Daher kann ein wirkungsvoller Heizvorgang ausgeführt werden. Die oben genannte Dicke kann erzielt werden, da die Heizer-

schicht 109 sowie die obere und die untere Isolierschicht 110 und 111 durch einen Dünnschicht-Herstellprozeß ausgebildet werden. Dadurch kann die Höhe der Oberfläche 216 im wesentlichen gleichmäßig ausgebildet werden. Daher kann dann, wenn die Klebeschicht 114 als Hohlraum gemustert wird, wie in Fig. 18 dargestellt, eine vollständige Isolierung auf einfache Weise so erzielt werden, daß keine Tintenströmung zwischen benachbarten Hohlräumen auftritt.

Wenn ein gestufter Abschnitt vorhanden ist, entsteht ein Spalt, der zu einem Druckverlust beim Ausstoßen von Tinte führt. Daher verbessert die vorstehend beschriebene Struktur den Wirkungsgrad des Tintenausstoßes, wobei kein Druckverlust vorliegt.

#### Viertes Ausführungsbeispiel

Gemäß Fig. 19 ist ein Tintenzuführloch 402 vorhanden, das eine obere und eine untere Schräge 404-a bzw. 404-b an der Oberfläche des einkristallinen Siliziumsubstrats 101 aufweist. Ein Kolben 403 mit trapezförmigem Querschnitt und einer Seitenfläche, die zur Oberfläche der oberen Schräge 404-a des Zuführlochs 402 paßt, ist so vorhanden, daß er rechtwinklig zum Substrat 102 beweglich ist. Ein Spalt 405 zwischen dem Kolben 403 und der oberen Wandfläche 404-a des Tintenzuführlochs 402 ist im Bereich von ungefähr 0,05–5 µm eingestellt. Der Kolben 403 ist einstückig mit dem sich ausbeulenden Körper 106 verbunden. Dessen beide Enden sind am Siliziumsubstrat 101 befestigt. Der restliche Teil des sich ausbeulenden Körpers 106 ist nicht befestigt, sondern nimmt einen schwebenden Zustand mit einem Spalt 408 zum Substrat 101 ein. Eine Heizerschicht 109 ist an der Rückseite des sich ausbeulenden Körpers 106 vorhanden. In Fig. 19 ist der Heizer 109 sowohl an der linken als auch der rechten Seite vorhanden. Die Heizerschicht 109 ist in eine obere und eine untere Isolierschicht 110 und 111 eingebettet. Die Isolierschichten 110 und 111 sorgen für elektrische Isolierung und sie verhindern Oxidation, Beeinträchtigung und Korrosion während Heizvorgängen zwischen dem sich ausbeulenden Körper 106 und der Heizerschicht 109. An jeder Oberfläche des Siliziumsubstrats 101 ist ein Oxidfilm 112 vorhanden.

Die Heizerschicht 109 wird dadurch erwärmt, daß ein elektrisches Signal über eine Verbindungsschicht 113 zugeführt wird. Eine Klebeschicht 114 ist auf dem Fixierabschnitt 107 des sich ausbeulenden Körpers 106 und in dessen Nähe vorhanden. Darauf ist eine Öffnungsplatte 115 angebracht, in der eine Düse 116 vorhanden ist, aus der Tinte ausgestoßen wird.

Das vierte Ausführungsbeispiel verfügt über eine ähnliche Struktur wie das dritte Ausführungsbeispiel, wobei jedoch die Wandflächen 404-a und 404-b des Tintenzuführlochs 404 zum Substrat 101 geneigt sind, also nicht rechtwinklig zu diesem stehen. Daher werden ähnliche Konstruktionsvorteile erzielt. Es ist zu beachten, daß sich der Spalt 405 bei der Hin- und Herbewegung des Kolbens 403 ändert. Das Tintenzuführloch 402 wird durch Mustern des Oxidfilms 112 zum Ausbilden eines Fensters mit anschließendem anisotropem Ätzen unter Verwendung einer KOH-Lösung hergestellt. Unter Verwendung von einkristallinem Silizium mit einer (100)-Kristallebene für das Substrat 101 verbleibt die (111)-Ebene mit geringer Ätzrate, wodurch die Schrägen 404-a und 404-b unter einem Winkel 55° zum Substrat 101 ausgebildet werden.

Substrate mit (100)-Kristallebene als Substratfläche werden zum Herstellen von Halbleiter-Bauelementen mit großem Umfang verwendet, und sie stehen zu geringen Kosten zur Verfügung, da sie durch Massenerstellung erzeugt werden.

Der Ausstoßvorgang beim vorliegenden Ausführungsbeispiel ist ähnlich dem beim in Fig. 16 dargestellten dritten Ausführungsbeispiel. Der Kolben 403 bewegt sich rechtwinklig zum Substrat 101, wodurch Tinte aus der Düse 116 ausgestoßen wird. Die Fig. 25A und 25B zeigen den Kolbenbetrieb im einzelnen, wobei der Zustand des sich ausbeulenden Körpers 106 vor und nach einer Verformung angegeben ist. Der sich ausbeulende Körper 106 erfährt beim Erwärmen eine Wärmeausdehnung, wodurch eine Ausbeulverformung auftritt, wie sie in Fig. 25B dargestellt ist. Im Ergebnis wird der Kolben 403 rechtwinklig zum Substrat 101 angetrieben.

Die Beschreibung hinsichtlich wirkungsvollen Tintenausstoßes, wie sie in Verbindung mit dem dritten Ausführungsbeispiel erfolgte, gilt auch für das vorliegende Ausführungsbeispiel. Auch die Hinweise zur Abmessung des Kolbens 403 gelten entsprechend. So kann ein kompakt integrierter Kopf mit hoher Auflösung mit einem Kolben 403 mit einer Länge von 300 µm an der längeren Seite des trapezförmigen Querschnitts, einer Breite von 50 µm und einer Dicke von 50 µm geschaffen werden.

Die Beschreibung zur Bemessung des Spalts 405 zum ersten Ausführungsbeispiel gilt auch für das vorliegende Ausführungsbeispiel. Obwohl der Spalt beim vierten Ausführungsbeispiel durch eine Ebene in einer Richtung von 55° zum Substrat festgelegt ist, kann Tintengegenströmung verhindert werden, um einen wirkungsvollen Ausstoßvorgang auszuführen, wenn die Bemessung des Spalts auf nicht mehr als 5 µm festgelegt ist, vorzugsweise auf 1–0,05 µm. Durch Erhöhen der Länge des Spalts, d. h. die Dicke des Kolbens 403, kann der Gegenströmungswiderstand (Kanalwiderstand) für Tinte leicht erhöht werden, um Tintengegenströmung zuverlässiger zu verhindern. Die Dicke des Kolbens 403 sollte größer sein als sein Hub. Genauer gesagt, beträgt die Dicke des Kolbens 403 mindestens 5 µm, vorzugsweise mehr als 20 µm.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 20A–20F wird ein Verfahren zum Herstellen des Aufbaus des vierten Ausführungsbeispiels beschrieben. Die in den Fig. 20A–20F dargestellten Schritte können durch einen Prozeß ausgeführt werden, der identisch mit dem für die Schritte der Fig. 17A–17F ist. Das Herstellverfahren beim vierten Ausführungsbeispiel unterscheidet sich nur dadurch, daß als einkristallines Siliziumsubstrat 101 ein solches mit einer (100)-Ebene als Oberflächenebene verwendet wird. Wie in Fig. 20A dargestellt, entstehen konkave Abschnitte 203-a und 203-b unter einem Winkel von 55° zum Substrat 101. Da die anderen Schritte identisch sind, wird die zugehörige Beschreibung hier nicht wiederholt.

Der Prozeß des Anklebens der Düsenplatte 111 ist ähnlich dem beim ersten Ausführungsbeispiel. Genauer gesagt, ist die Höhe der in Fig. 20F dargestellten Oberfläche 216, w. die Klebeschicht 114 ausgebildet wird, im wesentlichen über das gesamte Substrat 101 gleich ausgebildet. Durch Mustern der Klebeschicht 114 mit

Hohlraumform, wie in Fig. 18 dargestellt, kann eine vollständige Isolierung so erzielt werden, daß keine Tintenströmung zwischen benachbarten Hohlräumen auftritt.

#### Fünftes Ausführungsbeispiel

5 Gemäß den Fig. 21A und 21B ist ein Tintenzuführloch 102 rechtwinklig zu den Oberflächen eines einkristallinen Siliziumsubstrats 101 ausgebildet. Ein rechtwinklig zum Substrat 101 entlang einer Wandfläche 104 beweglicher Kolben 603 ist im Zuführloch 102 vorhanden. Ein Spalt 105 zwischen dem Kolben 603 und der Wandfläche 104 des Tintenzuführlochs 102 ist im Bereich von ungefähr 0,05–5 µm eingestellt. Der Kolben 603 ist einstückig am sich ausbeulenden Körper 606 befestigt, dessen beiden Enden über jeweilige Fixierabschnitte 107 am Siliziumsubstrat 101 befestigt sind, wobei sein restlicher Abschnitt nicht befestigt ist. Daher nimmt der mittlere Abschnitt des sich ausbeulenden Körpers 606 einen schwebenden Zustand ein, getrennt durch einen Spalt 108 vom Substrat 101. Der sich ausbeulende Körper 606 und der Kolben 603 bestehen einstückig mit gleicher Dicke aus demselben Material. Der Kolben 603 wird durch Ausbilden eines konkaven Abschnitts 619 im sich ausbeulenden Körper 606 hergestellt.

15 Gemäß Fig. 22 ist der konkave Abschnitt 619 in der Mitte des sich ausbeulenden Körpers 606 vorhanden, um den Kolben 603 zu bilden.

Gemäß Fig. 21A ist eine Heizerschicht 109 an der Rückseite des sich ausbeulenden Körpers 606 an dessen rechter und linker Seite vorhanden. Die Heizerschicht 109 wird durch eine obere und untere Isolierschicht 110 und 111 eingebettet, die für elektrische Isolierung sorgen und Oxidation, Beeinträchtigung und Korrosion während des Beheizens in bezug auf den sich ausbeulenden Körper 606 verhindern. An den beiden Oberflächen des Siliziumsubstrats 101 ist ein Oxidfilm 112 vorhanden.

20 Die Heizerschicht 109 wird über eine Verbindungsschicht 113 mit einem elektrischen Signal versorgt, um erwärmt zu werden. Eine Klebeschicht 114 ist am Fixierabschnitt 107 des sich ausbeulenden Körpers 606 und in dessen Nähe vorhanden, um eine Öffnungsplatte 115 anzukleben, in der eine Düse 116 vorhanden ist, aus der Tinte ausgestoßen wird.

25 Gemäß Fig. 21B ist der sich ausbeulende Körper 606 durch zwei Spalte 601 abgetrennt, die an einer Überzugsschicht vorhanden sind, die sich ausbeulen soll. Der konkave Abschnitt 619, der durch die einstückige Beschichtung im mittleren Abschnitt hergestellt ist, wird die Innenseite des hohlen Kolbens 603.

30 Nachfolgend wird die Funktion des in den Fig. 21A und 21B dargestellten Elements beschrieben.

In einem Betriebsmodus des vorliegenden Elements wird der von der Klebeschicht 114 umschlossene Hohlraum 117 durch das Tintenzuführloch 102 mit Tinte versorgt, wobei der Hohlraum 117, die Spalte 108, 105 und das Tintenzuführloch 102 alle mit Tinte gefüllt sind.

35 Die Heizerschicht 109 wird von einer nicht dargestellten externen Spannungsversorgung mit einem Stromimpuls versorgt, um erwärmt zu werden. Daraufhin wird auch der in Kontakt mit ihr stehende sich ausbeulende Körper 606 schnell erwärmt, wodurch Wärmeausdehnung auftritt. Da beide Enden des sich ausbeulenden Körpers 606 über die jeweiligen fixierten Abschnitte 107 am Substrat 101 befestigt sind, führt die Wärmeausdehnung zu Kompressionsspannungen innerhalb des sich ausbeulenden Körpers 606. Wenn diese Kompressionsspannungen eine bestimmte Grenze überschreiten, wird der sich ausbeulende Körper 606 plötzlich zum Substrat 40 101 hin verformt (ausgebeult). Daraufhin bewegt sich auch der einstückig mit dem sich ausbeulenden Körper 606 ausgebildete Kolben 603 in rechtwinkliger Richtung.

Da der Kolben 603 des sich ausbeulenden Körpers 606 über konkave Form verfügt, wie in Fig. 22 dargestellt, tritt wegen seiner hohen Biegesteifigkeit nicht einfach eine Verformung auf. Daher tritt eine Ausbeulverformung nur in einem anderen Abschnitt des sich ausbeulenden Körpers 606 als dem Kolbenabschnitt auf. Obwohl die 45 Möglichkeit besteht, daß im Endabschnitt 621, an der Grenze zwischen dem sich ausbeulenden Körper 606 und dem Kolben 603 wegen der Verformung des sich ausbeulenden Körpers 606 im mittleren Abschnitt 620 als Antiknoten keine Verformung auftritt, ist die durch diese Verformung hervorgerufene Energie größer als die Energie der Verformung, bei der der Endabschnitt 621 ein Antiknoten ist und der fixierte Abschnitt 107 ein Knoten im sich ausbeulenden Körper 606 ist. Daher ergibt sich beim Aufbau des vorliegenden Ausführungsbeispiels die gewünschte Verformung mit dem Endabschnitt 212 als Antiknoten.

50 Diese Verformung bewirkt eine Volumenänderung des Hohlraums 117 entsprechend dem in Fig. 16 dargestellten schraffierten Bereich, hervorgerufen durch die Verstellung des Kolbens 603. Diese Volumenänderung kann durch die Verformung des sich ausbeulenden Körpers 606 durch die schnelle Erwärmung der Heizerschicht 109 schnell auftreten. Dann steigt der Druck im Hohlraum 117 plötzlich an, wodurch Tinte durch die Düse 116 ausgestoßen wird.

55 Wenn der Stromimpuls zur Heizerschicht 109 abgeschaltet wird, kühlt der sich ausbeulende Körper 606 ab und nimmt wieder seinen vorigen Zustand ein. Vom Tintenzuführloch 102 wird eine der ausgestoßenen Tinte entsprechende Menge durch den Spalt 105 in den Hohlraum 117 geliefert. Durch erneutes Anlegen eines Stromimpulses an die Heizerschicht 109 kann Tinte ausgestoßen werden. Dieser Kolbenbetrieb ist in den Fig. 26A und 26B detaillierter wiedergegeben, die den Zustand des sich ausbeulenden Körpers vor und nach einer Verformung zeigen. Der sich ausbeulende Körper 606 wird erwärmt, wodurch Wärmeausdehnung auftritt. Im Ergebnis verformt sich der sich ausbeulende Körper 606 so, wie es in Fig. 26B dargestellt ist, wobei der Kolben 603 rechtwinklig zum Substrat 101 angetrieben wird.

60 Gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel besteht der Kolben 603 aus einer dreidimensionalen Schale eines dünnen Konstruktionskörpers. Daher kann ein stabiler Konstruktionskörper geschaffen werden, der trotz seiner dünnen Schale über hohe Steifigkeit verfügt. Da der Kolben aus einer Schalenstruktur besteht, ist das Gewicht der beweglichen Einheit gering, so daß sie mit hoher Geschwindigkeit angetrieben werden kann.

Die Überlegungen betreffend die Abmessung des Kolbens und des Spalts zum Zweck eines wirkungsvollen



Tintenausstoßes sind ähnlich wie die betreffend das erste Ausführungsbeispiel.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 23A—23F wird ein Verfahren zum Herstellen des Aufbaus des fünften Ausführungsbeispiels beschrieben. Der Herstellschritt der Fig. 23A ist dem der Fig. 17A ähnlich.

Der Herstellschritt von Fig. 23B ist dem von Fig. 17B ähnlich, wobei jedoch im konkaven Abschnitt 203-a kein Kolben ausgebildet wird.

Gemäß Fig. 23C werden die untere Isolierschicht 111, die Heizerschicht 109 und dann die obere Isolierschicht 110 hergestellt. Das Material jeder Isolierschicht, das Material und der Aufbau der Heizerschicht sowie die Vorteile durch das Anbringen der Heizerschicht auf der verlorenen Schicht sind ähnlich wie es unter Bezugnahme auf Fig. 17C beschrieben wurde.

Gemäß Fig. 23D werden der Kolben 603, der sich ausbeulende Körper 606 und das Verbindungsmuster 210 durch eine Beschichtung im konkaven Abschnitt 203-a hergestellt. Dazu gehören folgende Schritte: Herstellen einer unteren, leitenden Schicht (aus z. B. Ni, Ta, Ag) mit einer Dicke von 0,01—1 µm auf der gesamten Fläche vor dem Herstellen einer Beschichtung; Herstellen eines Photoresistmusters auf einem Abschnitt 211, auf dem keine Beschichtung erforderlich ist und Entfernen des Resists nach einem Beschichtungsvorgang.

In diesem Fall ist es wirkungsvoll, das Substrat 101 zu drehen oder einen Film während der Herstellung einer leitenden Schicht aus einer schrägen Richtung aufzuwachsen, um eine Unterbrechung der leitenden Schicht zu verhindern, wie sie durch eine Ecke 217 des konkaven Bereichs 203-a hervorgerufen werden könnte. Es ist besonders wirkungsvoll, ein CVD-Filmwachstumsverfahren zu verwenden, das hinsichtlich Stufenüberdeckungen hervorragend ist.

Das Verbindungsmuster 210 wird so ausgebildet, daß es eine Verbindung zur Heizerschicht 109 herstellt. Als Material für den sich ausbeulenden Körper 106 kann ein solches verwendet werden, das Ni, Cu, Co, P oder S oder eine Legierung hieraus enthält. Ni, Cu und Co sind besonders bevorzugt, da sie über einen hohen Wärmeexpansionskoeffizient und Youngmodul verfügen. Die sich im sich ausbeulenden Körper ansammelnde elastische Energie kann erhöht werden, um eine größere Ausstoßenergie zu erzielen. Unter Verwendung einer Legierung ist die Widerstandsfähigkeit des sich ausbeulenden Körpers 106 verbessert, was seine Lebensdauer erhöht. Der Youngmodul ist weiter erhöht, was zu größerer elastischer Energie führt. Dies ist ähnlich zu dem, was zu Fig. 17D beschrieben wurde.

Gemäß Fig. 23E wird das wie vorstehend beschrieben behandelte Substrat 101 für einen anisotropen Ätzvorgang ganz in eine KOH-Lösung eingetaucht, wodurch der verbliebene Abschnitt 212 entfernt wird. Wenn für die verlorene Schicht 204 Aluminium verwendet wird, läuft der Ätzvorgang für das Aluminium gleichzeitig mit dem anisotropen Ätzen ab. Dies bedeutet, daß die verlorene Schicht 204 gleichzeitig entfernt wird. So kann der Herstellprozeß vereinfacht werden.

Gemäß Fig. 23F wird die Öffnungsplatte 115 mit der Düse 116 über die Klebeschicht 114 am Substrat 101 befestigt. Für die Klebeschicht 114 kann ein durch Ultraviolettstrahlung härtbarer Kleber, ein thermisch härtbarer Kleber oder dergleichen verwendet werden. Durch Mustern der Klebeschicht 114, wie es in Fig. 18 dargestellt ist, ist die Abtrennung des Hohlraums erleichtert.

#### Patentansprüche

1. Tintenstrahlkopf mit einem sich ausbeulenden Körper (10) als Antriebsquelle, der an seinen beiden Seiten in Längsrichtung gehalten wird, dadurch gekennzeichnet, daß der sich ausbeulende Körper in seiner Längsrichtung eine Länge L und eine Dicke h hat, für die folgendes gilt:  $300 \leq L \leq 900 \mu\text{m}$  bzw.  $3 \leq h \leq 20 \mu\text{m}$ .
2. Tintenstrahlkopf mit einem sich ausbeulenden Körper (10) als Antriebsquelle, dadurch gekennzeichnet, daß  $E\alpha^2$  mindestens  $20 \text{ N/m}^2/\alpha^2$  und nicht mehr als  $80 \text{ N/m}^2/\alpha^2$  beträgt, wobei E der Youngmodul ist und  $\alpha$  der Wärmeexpansionskoeffizient des Materials des sich ausbeulenden Körpers ist.
3. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Material des sich ausbeulenden Körpers (10) aus der aus Al, Cu, Ni und Legierungen derselben bestehenden Gruppe ausgewählt ist.
4. Tintenstrahlkopf mit einem sich ausbeulenden Körper (10) als Antriebsquelle, dessen beide Enden in Längsrichtung festgehalten sind, dadurch gekennzeichnet, daß für die Dicke h des sich ausbeulenden Körpers folgendes gilt:

$$(1/2) (L/\pi) \sqrt{0,6\alpha t} \leq h \leq (3/2) (L/\pi) \sqrt{0,6\alpha t},$$

wobei L die Länge in Längsrichtung ist,  $\alpha$  der Wärmeexpansionskoeffizient des Materials des sich ausbeulenden Körpers ist, und dieser um  $t^\circ\text{C}$  erwärmt wird.

5. Tintenstrahlkopf mit:

- einem Substrat (1) mit einer Hauptfläche;
- einem sich ausbeulenden Körper (10), dessen beide Endabschnitte an der Hauptfläche des Substrats gehalten werden; und
- einer Düsenplatte (5) mit einer Düse (6), die so angeordnet ist, daß sie dem mittleren Abschnitt des an seinen beiden Endabschnitten festgehaltenen sich ausbeulenden Körpers gegenübersteht;

dadurch gekennzeichnet, daß

- die Düsenplatte mittels eines Abstandshalters (7) am Substrat befestigt ist und
- der Spalt zwischen dem sich ausbeulenden Körper und der Düsenplatte mindestens  $5 \mu\text{m}$  und nicht mehr als  $30 \mu\text{m}$  beträgt.

6. Tintenstrahlkopf gekennzeichnet durch mehrere sich ausbeulende Körper (10), die an ihren beiden Enden

in Längsrichtung festgehalten werden und entlang dieser Längsrichtung in einem einer einzigen Düse (6) zugehörigen Hohlraum (3) angeordnet sind.

7. Tintenstrahlkopf mit:

- einem Substrat (101) mit einer Hauptfläche und einem in diesem ausgebildeten Tintenzuführloch (102);
  - einem sich ausbeulenden Körper (106), der sich über die Öffnung des Tintenzuführlochs erstreckt und dessen beide Seitenenden an der Oberfläche des Substrats festgehalten werden, wodurch er sich beim Einwirken einer Kompressionsspannung ausbeult;
  - einer Kompressionsdruck-Ausübungseinrichtung (109, 113) zum Ausüben von Kompressionsspannungen auf den sich ausbeulenden Körper;
  - einer Kolbeneinheit (103), die an einer Fläche des sich ausbeulenden Körpers so angebracht ist, daß sie sich entlang der Wandfläche des Tintenzuführlochs nach hinten und vorne verstellt; und
  - einer Düsenplatte (115), die an der anderen Seite des sich ausbeulenden Körpers mit einer darunterliegenden Klebeschicht (114) so befestigt ist, daß sie der anderen Seite des sich ausbeulenden Körpers mit einem vorgegebenen Abstand gegenübersteht, und die eine Düse (116) enthält;
  - wobei sich die Kolbeneinheit durch die Ausbeulverformung des sich ausbeulenden Körpers nach hinten und vorne bewegt, wodurch Tinte durch Druckausübung aus der Düse ausgestoßen wird.
8. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (101) aus einkristallinem Silizium besteht und die Wandfläche des Tintenzuführlochs (102) durch eine (111)-Ebene gebildet wird.
9. Tintenstrahlkopf nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Kolbeneinheit (603) einstückig mit dem sich ausbeulenden Körper (606) ausgebildet ist, und sie als konkaver Abschnitt in bezug auf die andere Fläche und als konvexer Abschnitt in bezug auf die eine Fläche des sich ausbeulenden Körpers ausgebildet ist.

10. Verfahren zum Herstellen eines Tintenstrahlkopfs, mit den folgenden Schritten:

- Herstellen eines konkaven Abschnitts (203-a), der ein Tintenzuführloch (102) wird, in einer Hauptfläche eines Substrats (101);
  - Herstellen einer verlorenen Schicht (204) in solcher Weise, daß sie die Innenwandfläche des konkaven Abschnitts und teilweise die Hauptfläche des Substrats bedeckt;
  - Herstellen eines sich ausbeulenden Körpers (106) in solcher Weise, daß dessen beide Endabschnitte an der Hauptfläche des Substrats festgehalten werden, mit einer Kolbeneinheit (103) innerhalb des konkaven Abschnitts, wobei die verlorene Schicht dazwischenliegt; und
  - Durchstechen des Substrats in solcher Weise, daß der konkave Abschnitt in das Tintenzuführloch umgewandelt wird, und Entfernen der verlorenen Schicht.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Substrat (101) aus einkristallinem Silizium verwendet wird und der Schritt des Herstellens des konkaven Abschnitts (203-a) durch anisotropes Ätzen ausgeführt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die verlorene Schicht (204) aus einem dünnen Aluminiumfilm hergestellt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Kolbeneinheit (603) und der sich ausbeulende Körper (606) gleichzeitig durch einen Beschichtungsvorgang hergestellt werden.

Hierzu 26 Seite(n) Zeichnungen

FIG.1A

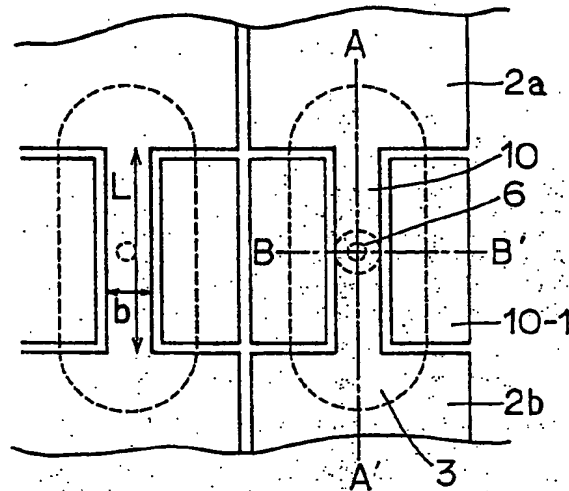


FIG.1B

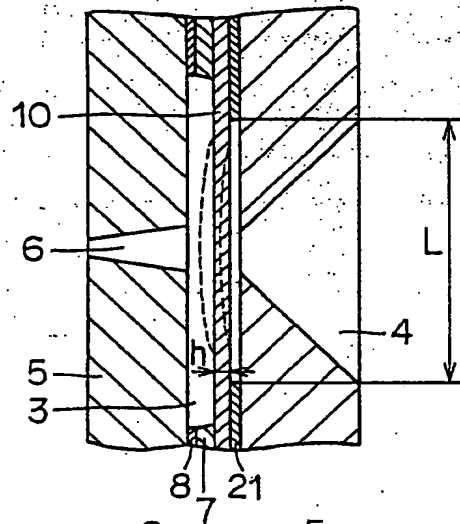


FIG.1C

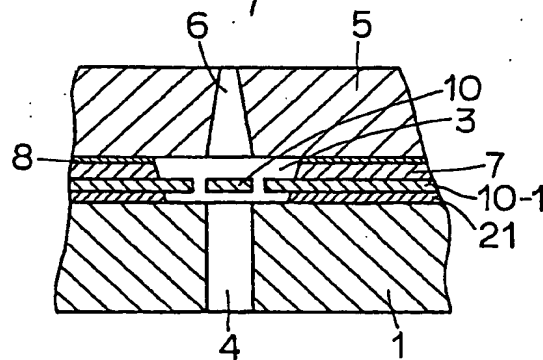


FIG.2

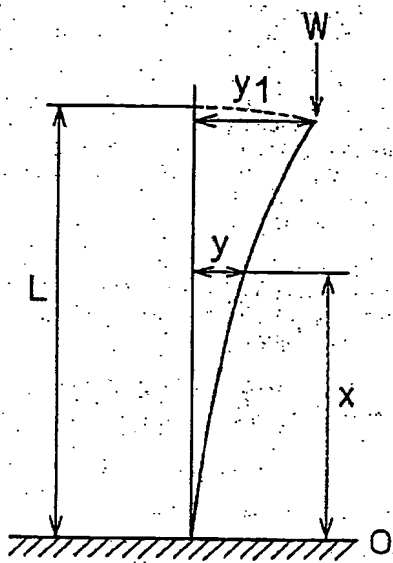


FIG.3

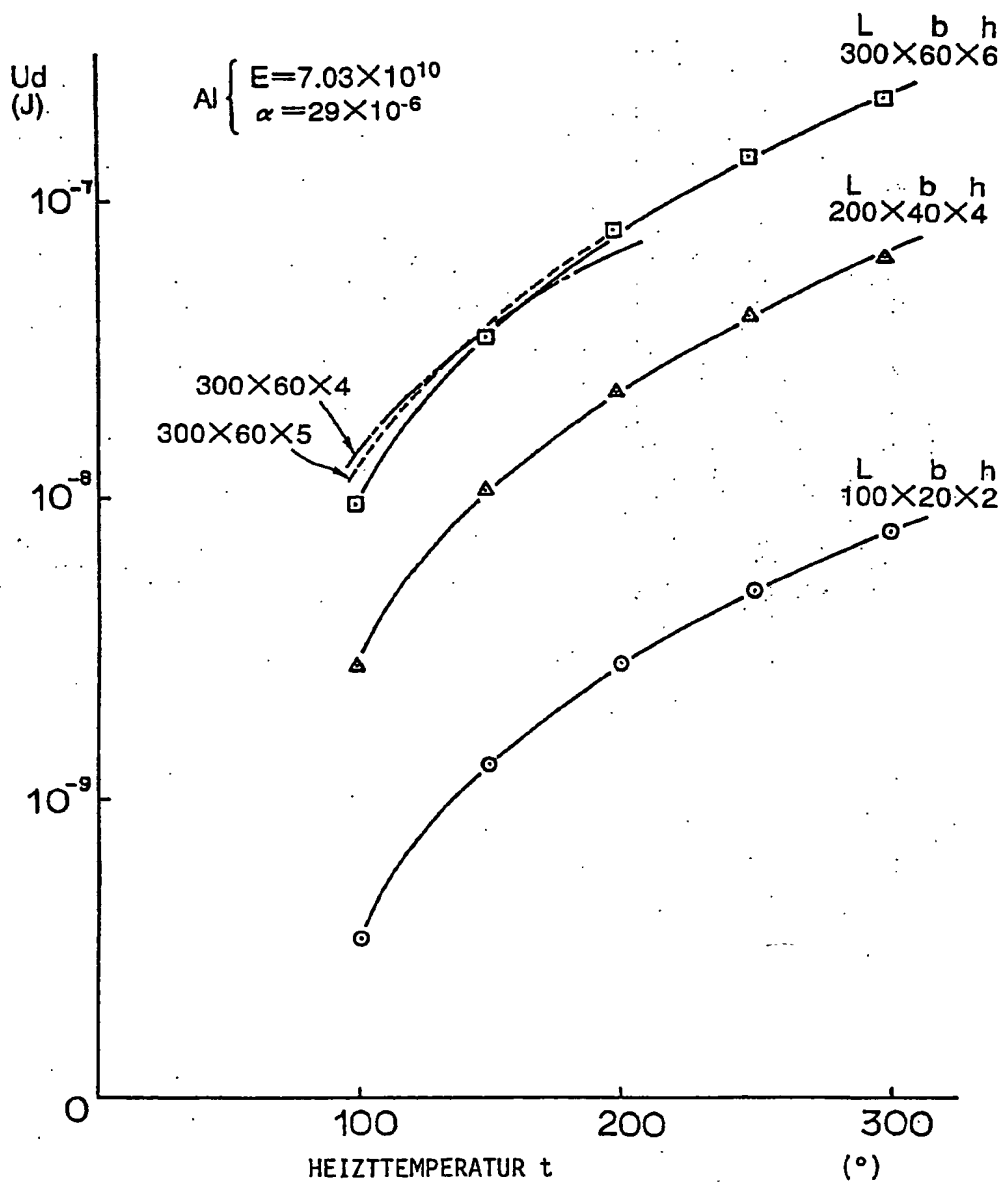


FIG.4

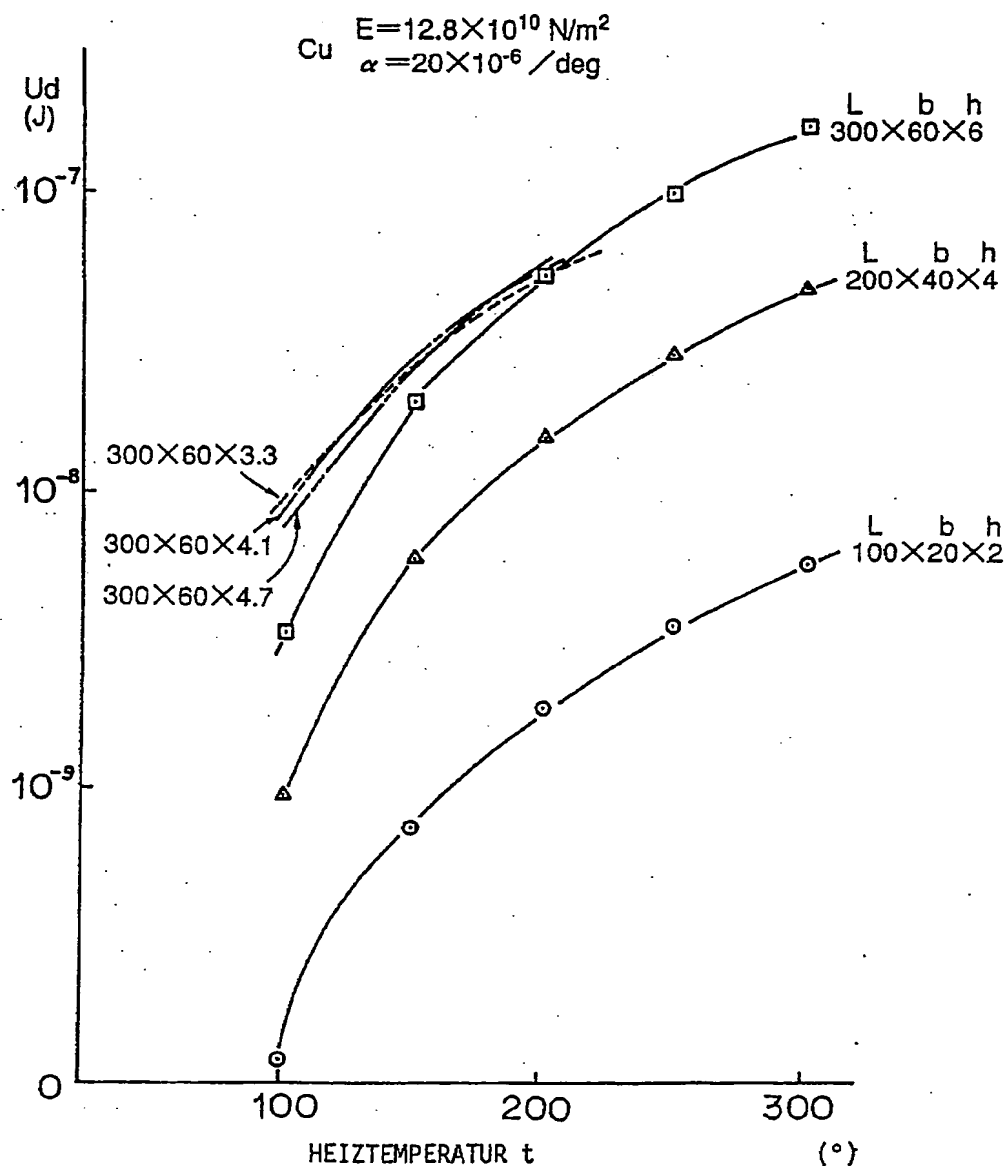


FIG.5

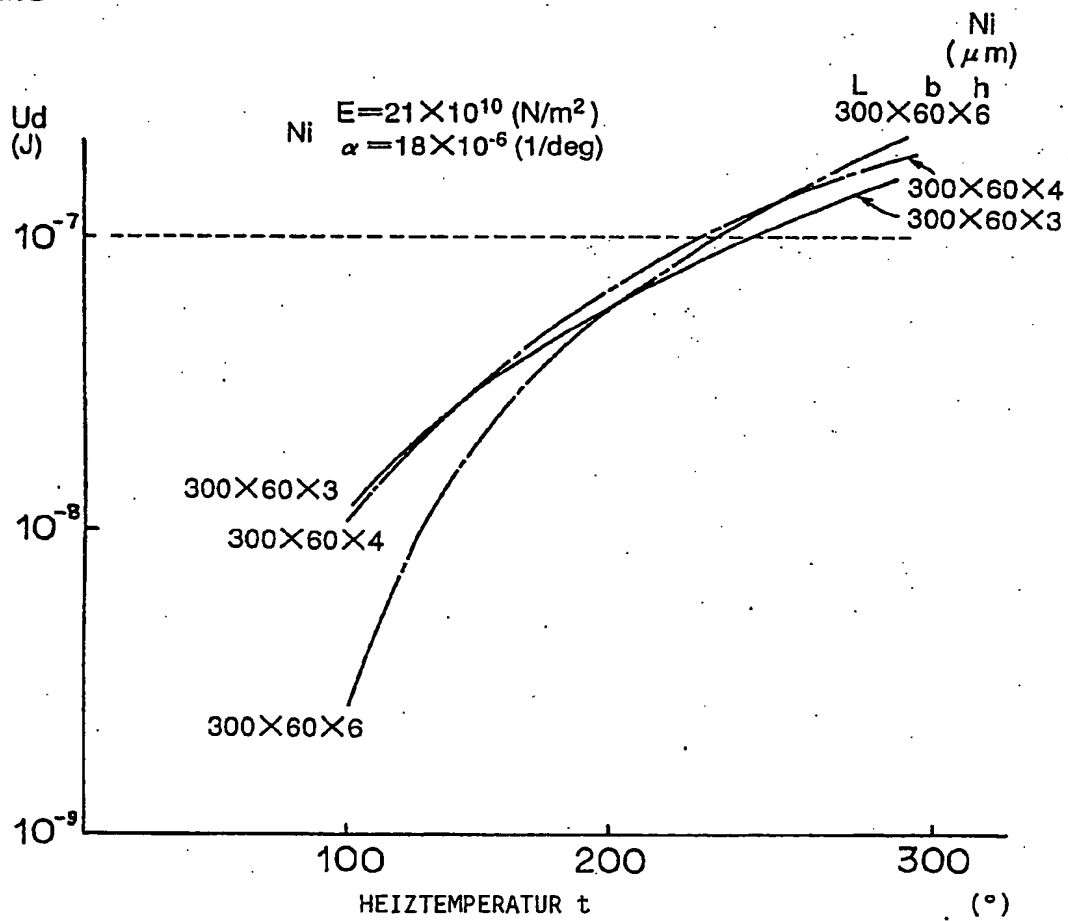


FIG. 6

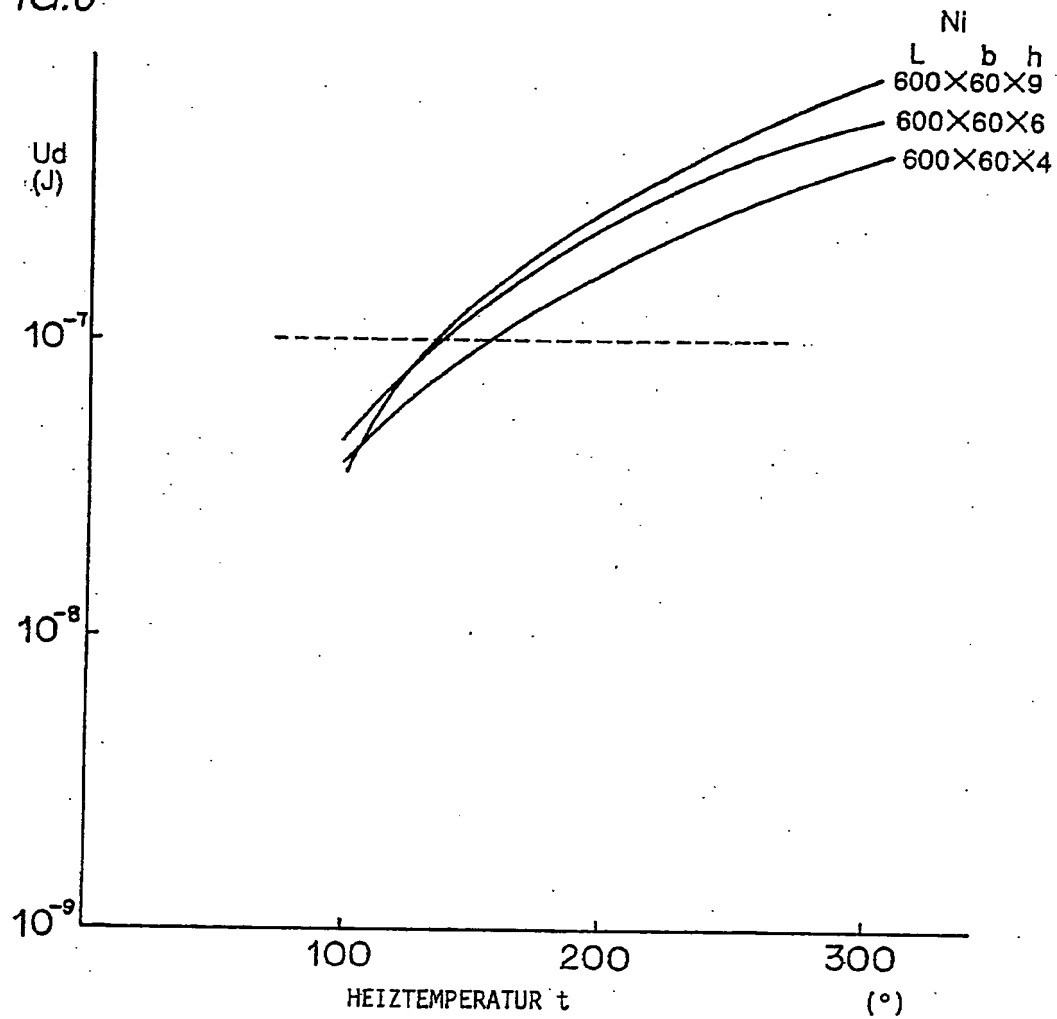




FIG. 7

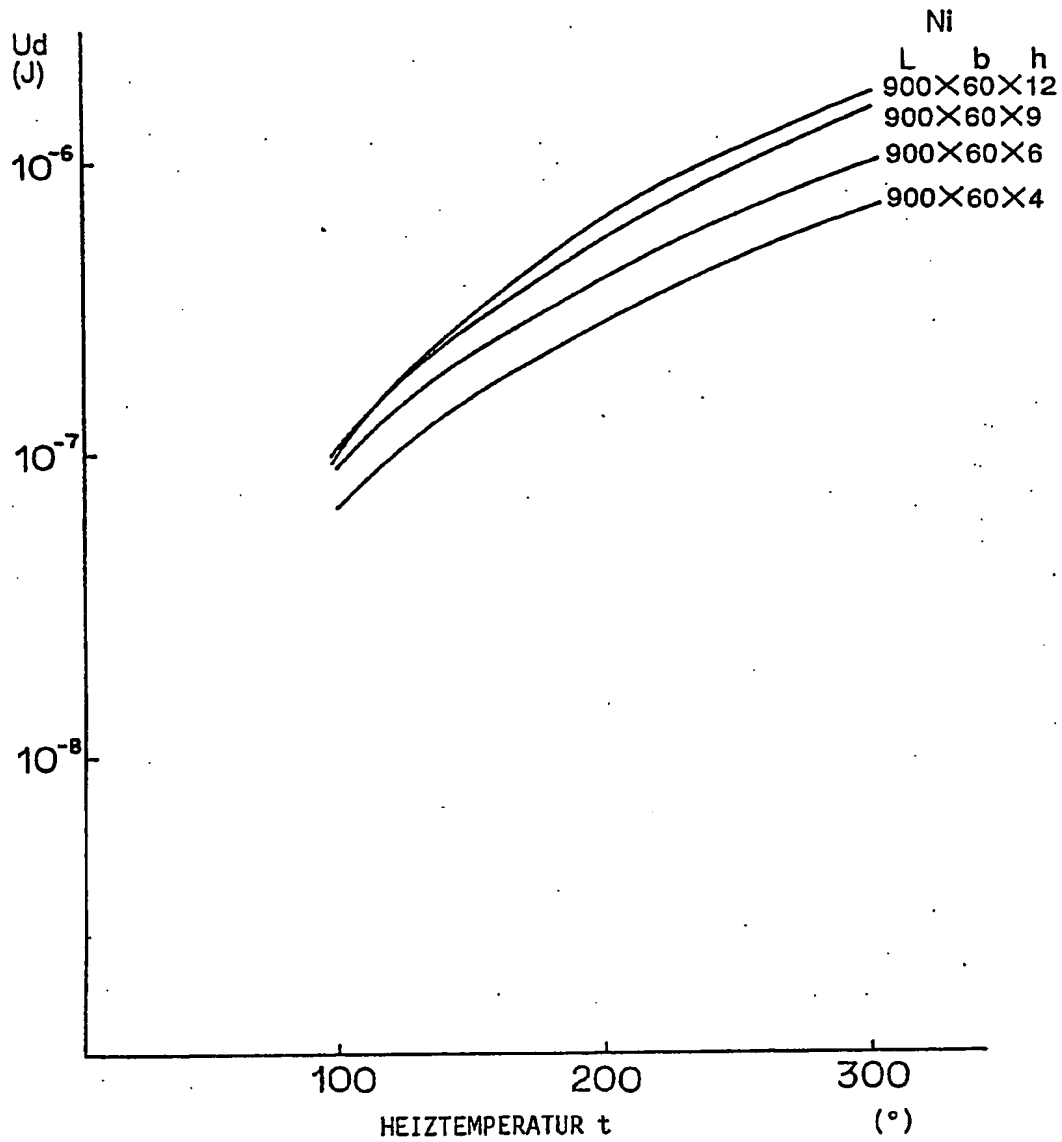


FIG.8

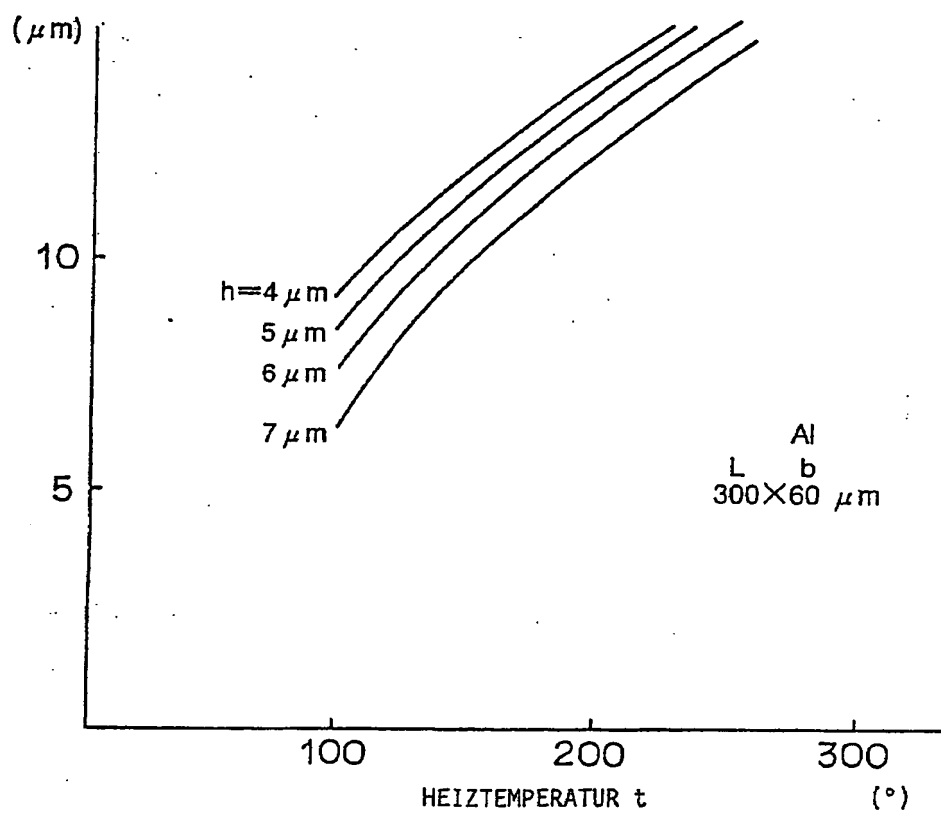


FIG.9

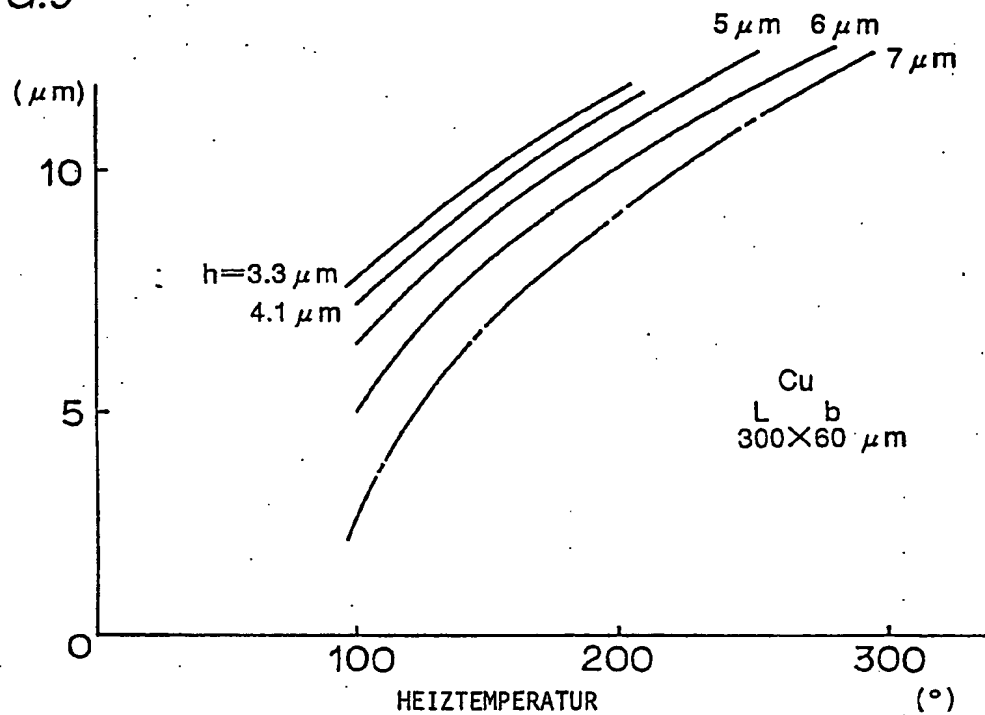


FIG.10

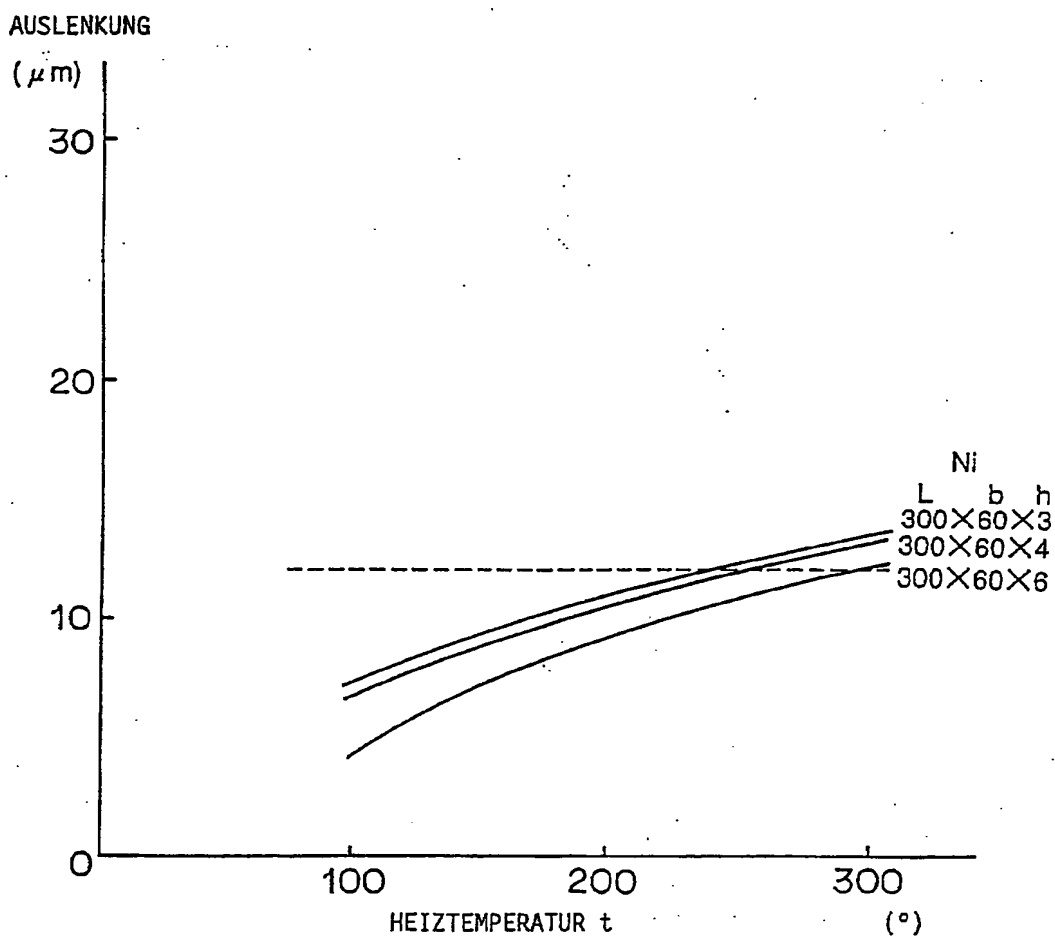


FIG. 11

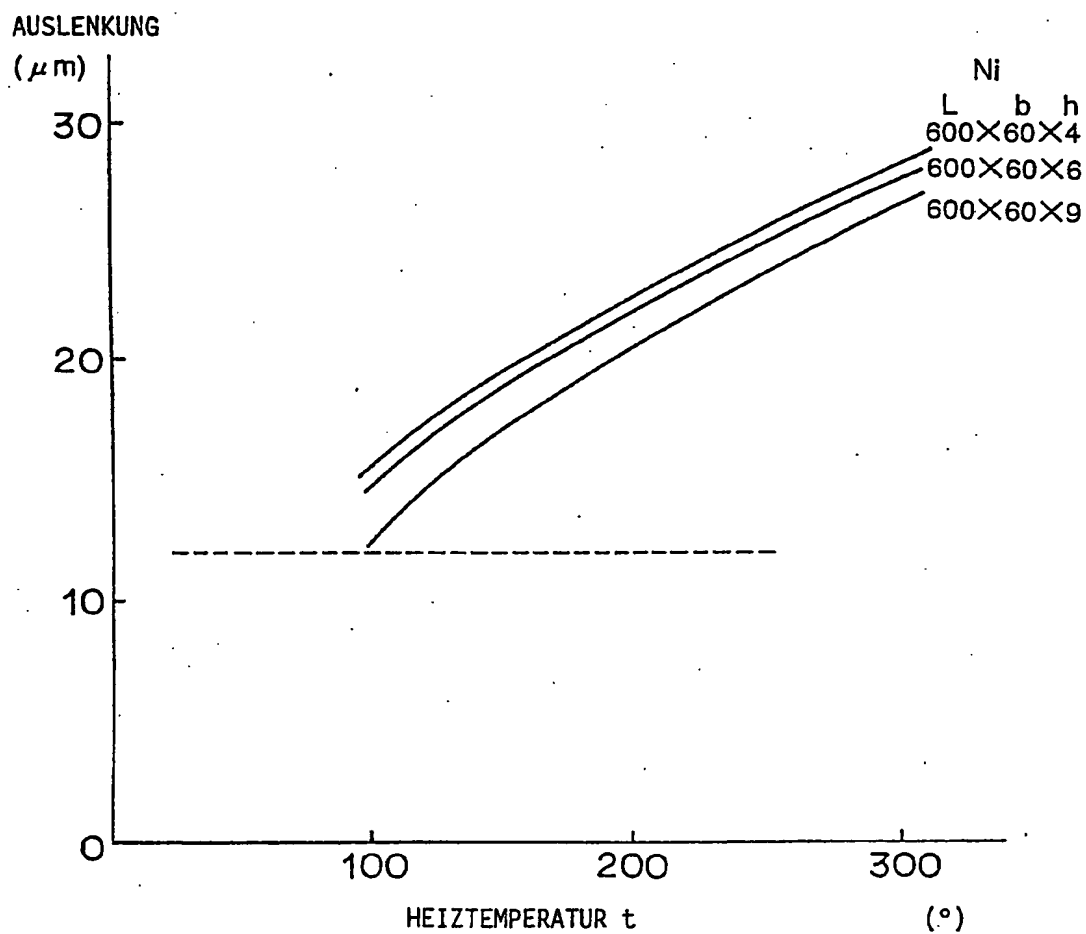


FIG. 12

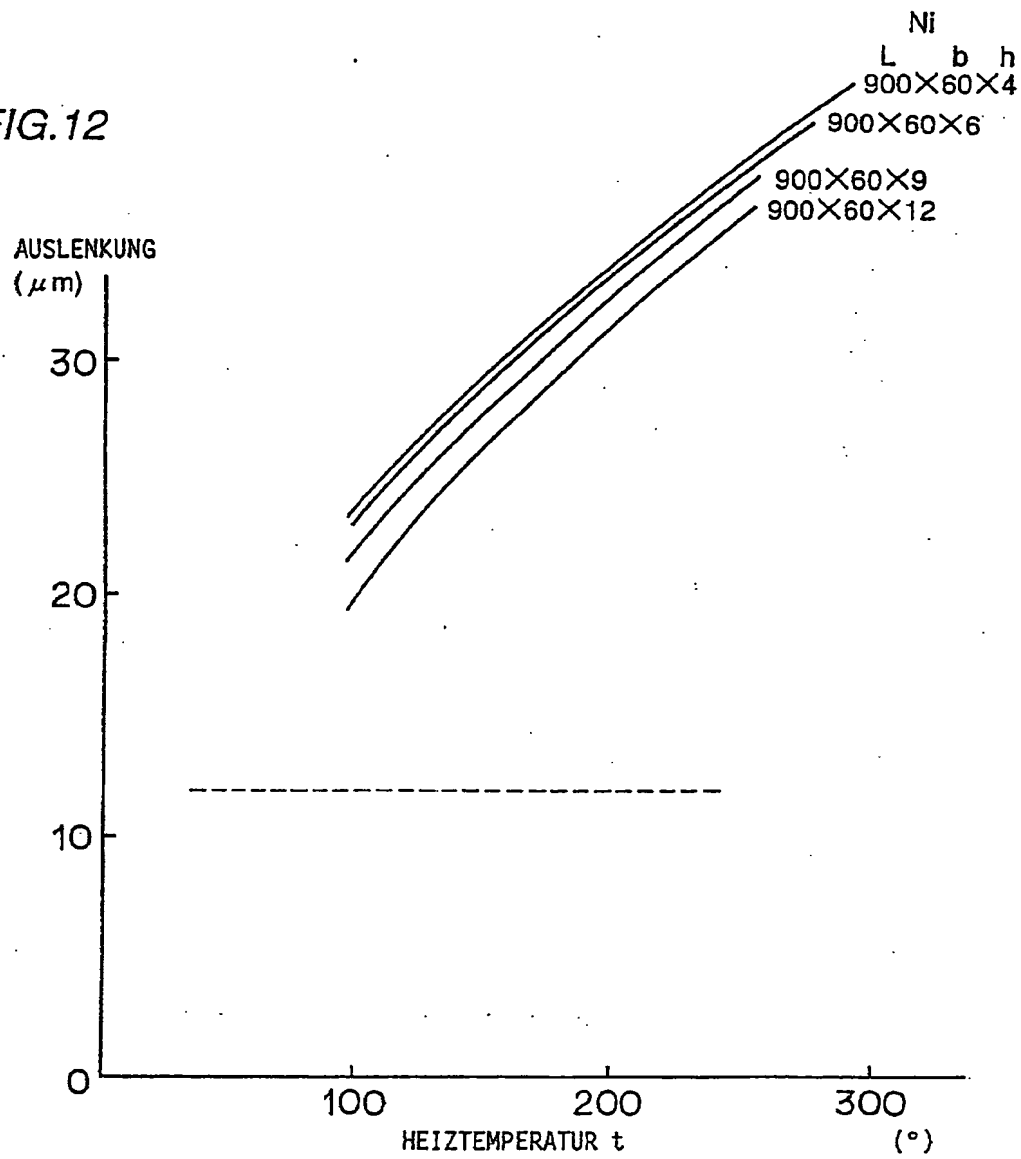


FIG. 13

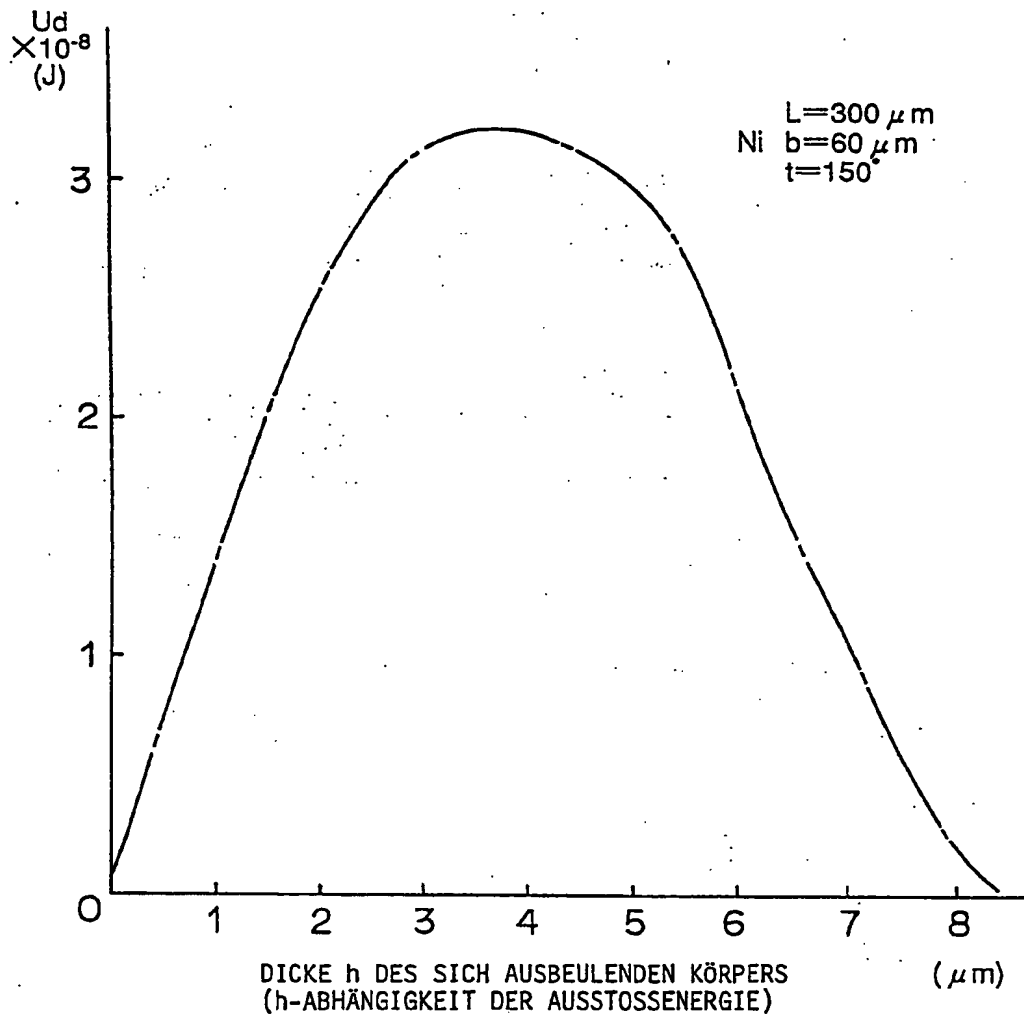


FIG.14A

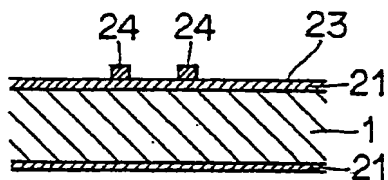


FIG.14B

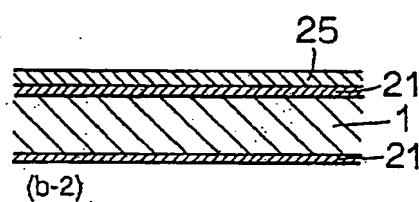
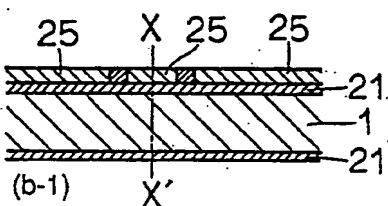


FIG.14C

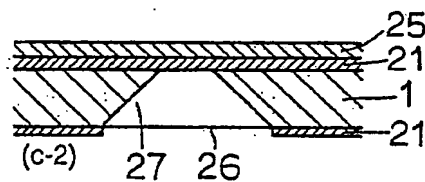
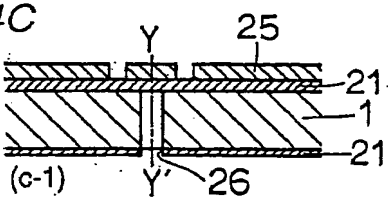


FIG.14D

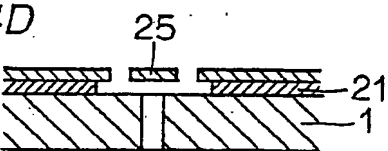


FIG.14E

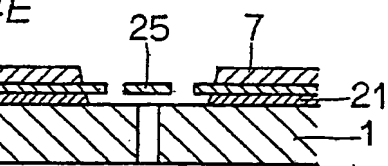


FIG.14F

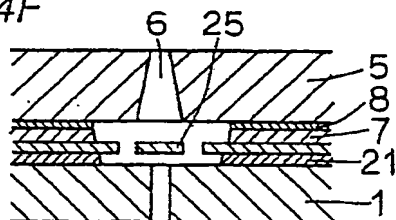




FIG. 15A

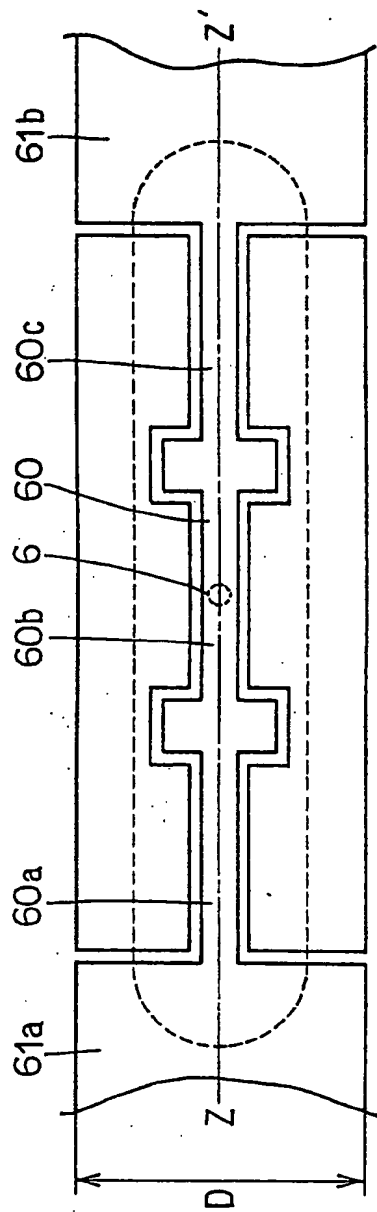


FIG. 15B

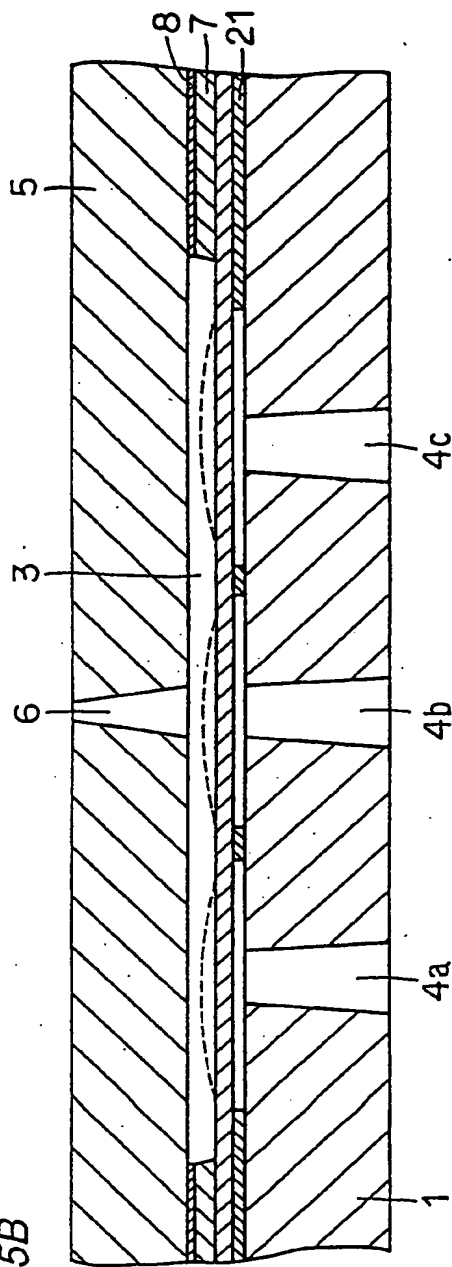


FIG. 16

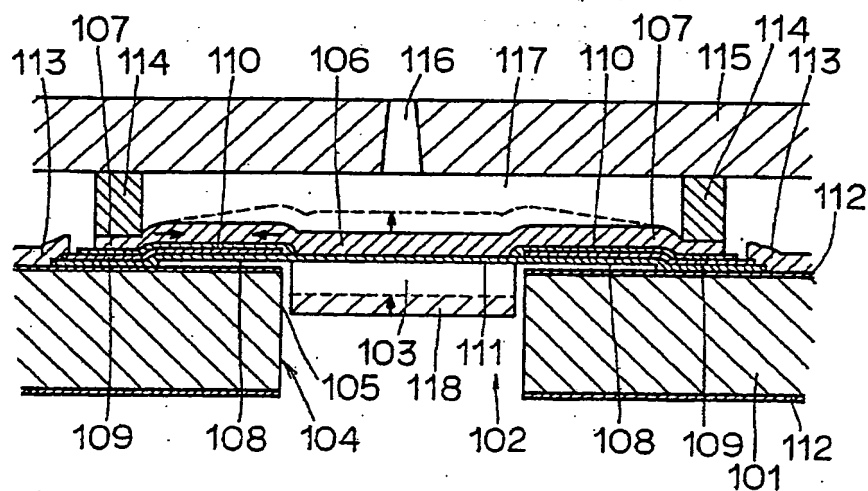


FIG.17A

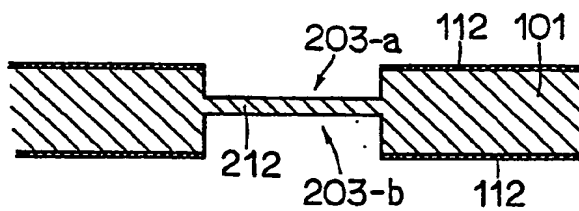


FIG.17B

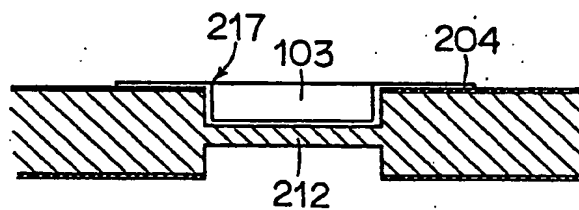


FIG.17C

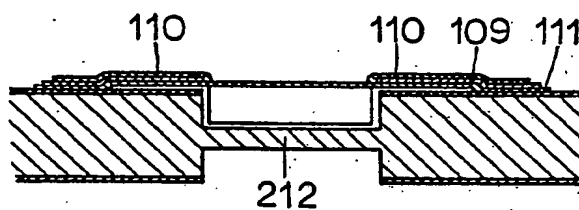


FIG.17D

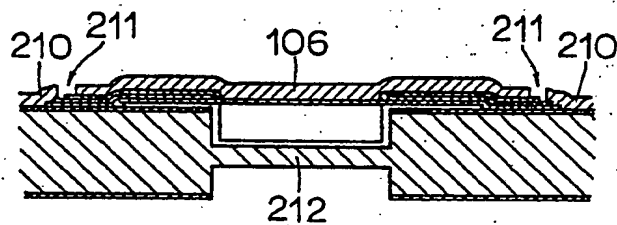


FIG.17E

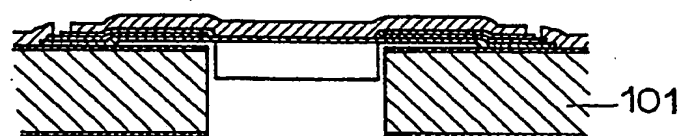


FIG.17F

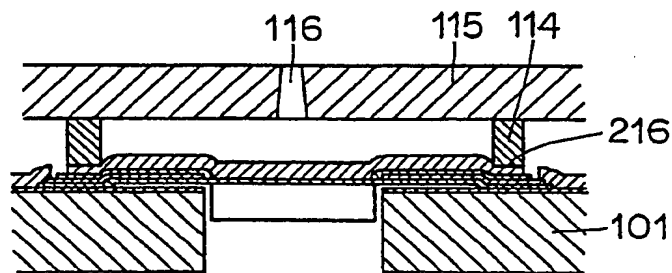


FIG. 18

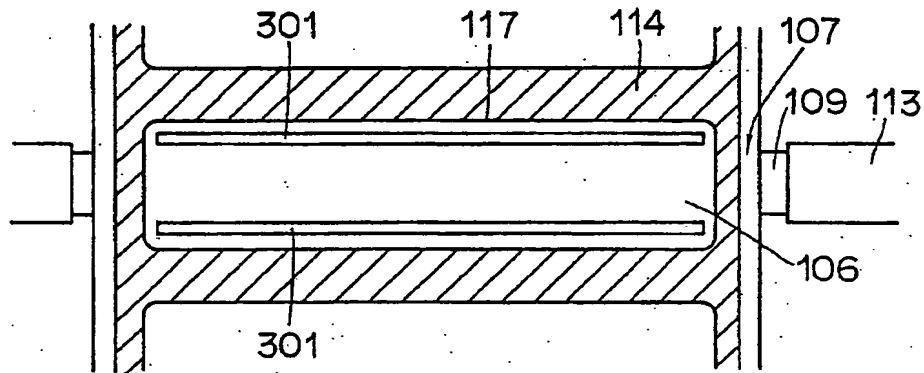


FIG. 19

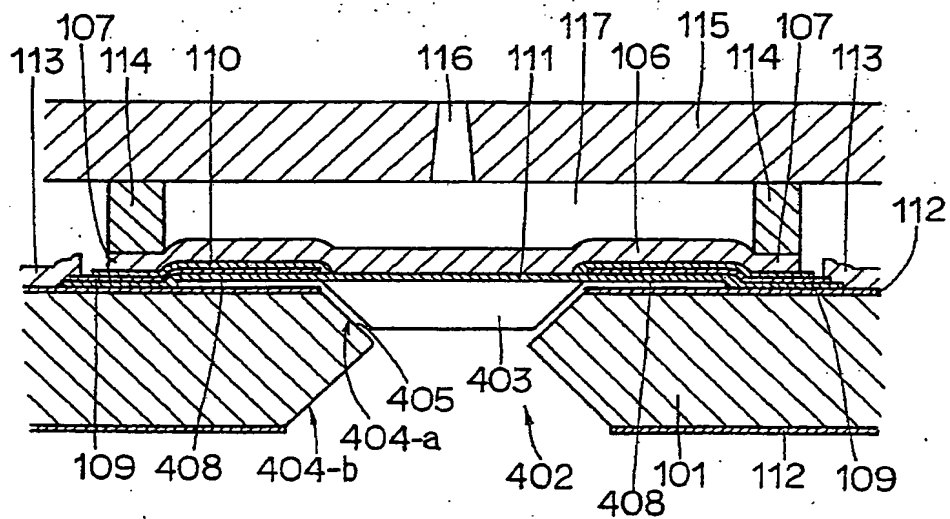


FIG.20A

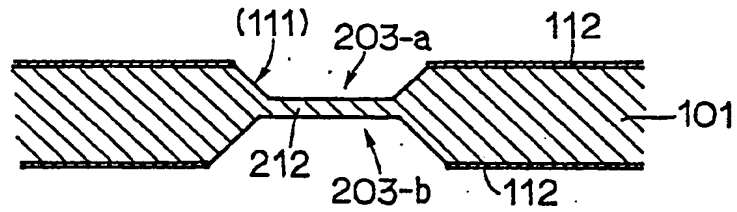


FIG.20B

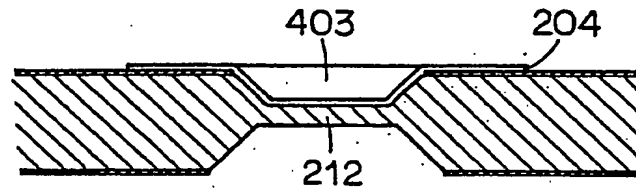


FIG.20C

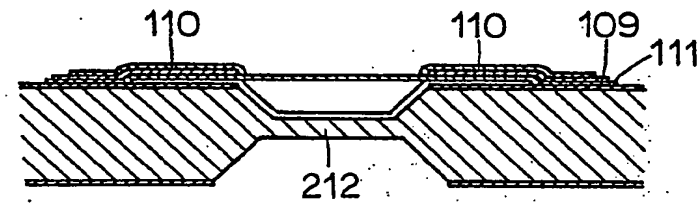


FIG.20D

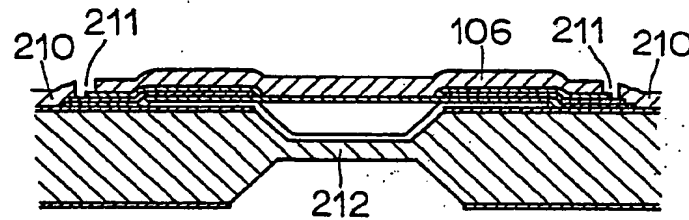


FIG.20E

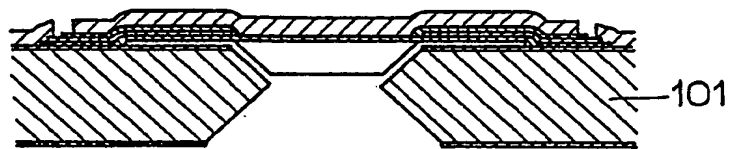


FIG.20F

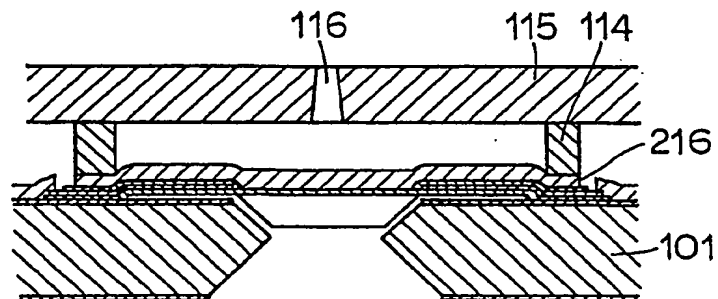


FIG.21A

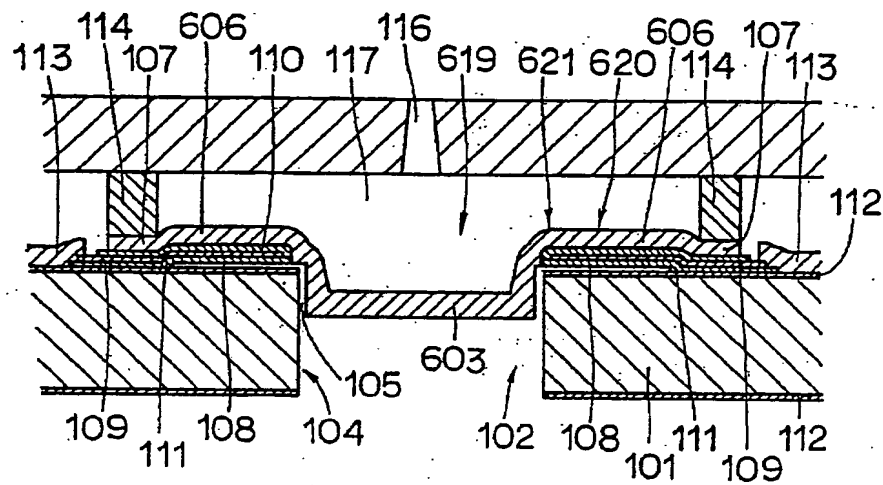


FIG.21B

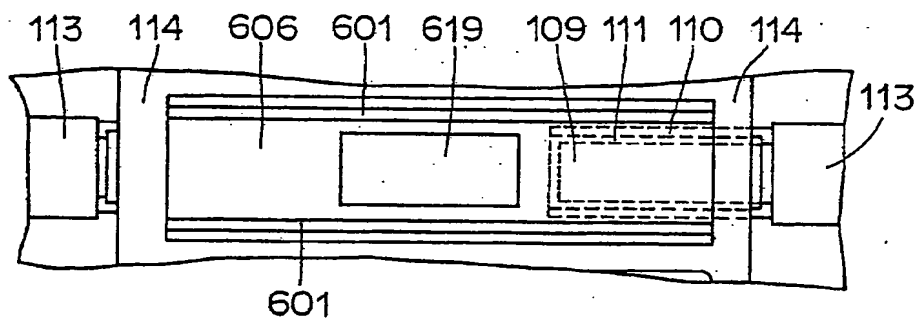


FIG.22

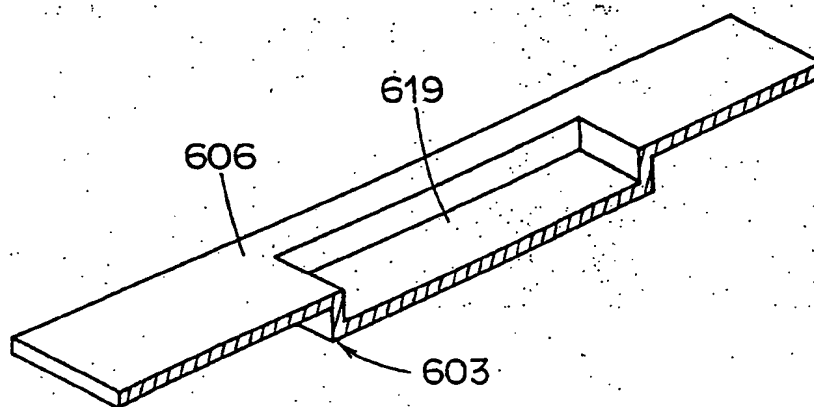


FIG.23A

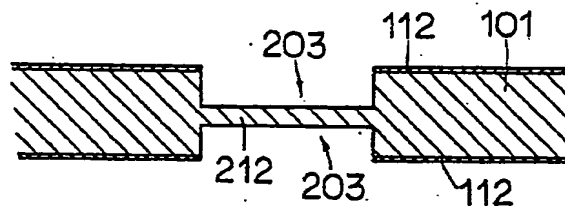


FIG.23B

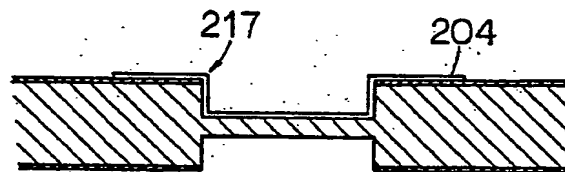


FIG.23C

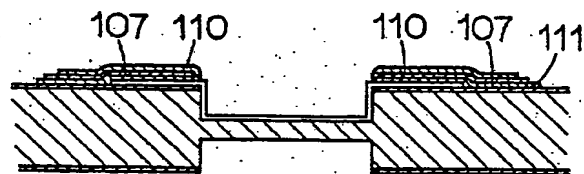


FIG.23D

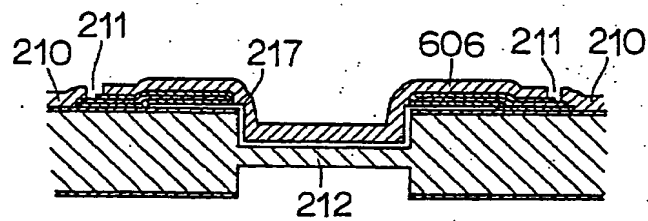


FIG.23E

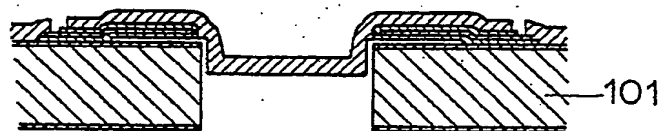


FIG.23F

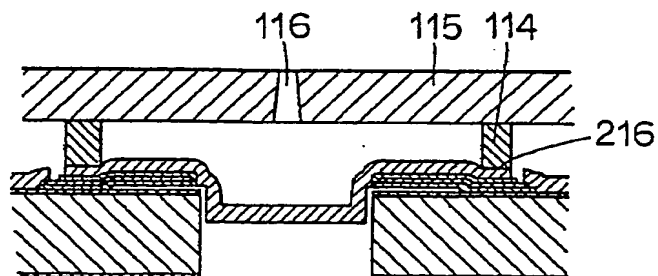




FIG.24A

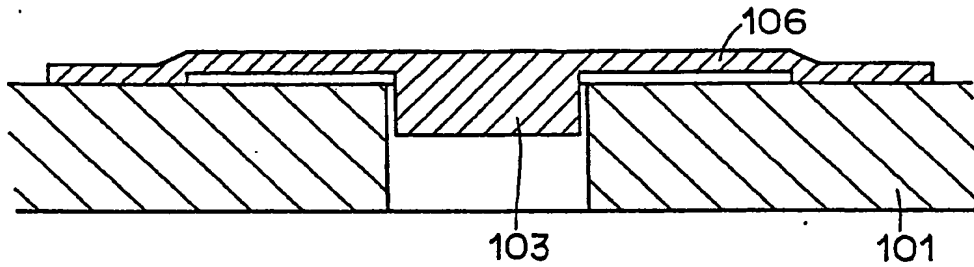


FIG.24B

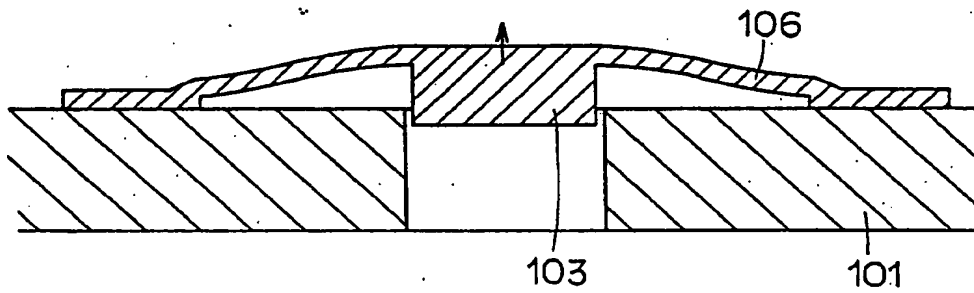


FIG.25A

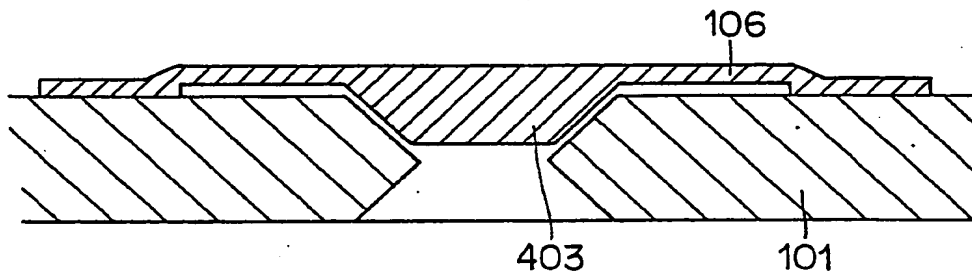


FIG.25B

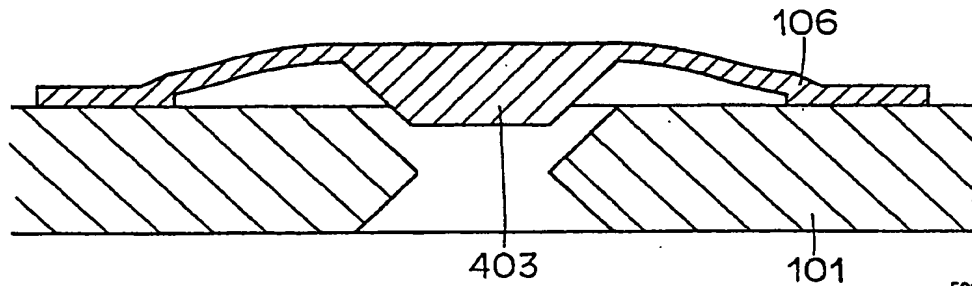


FIG.26A

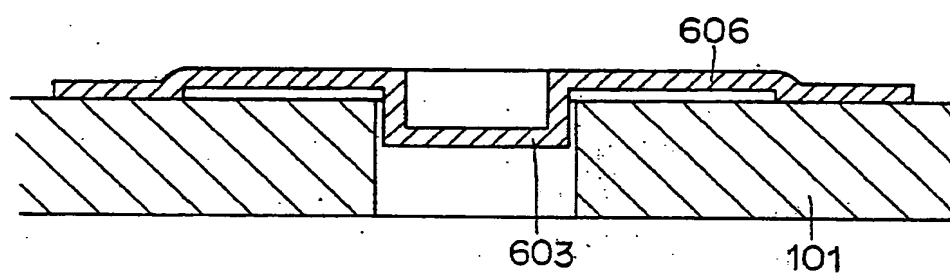


FIG.26B

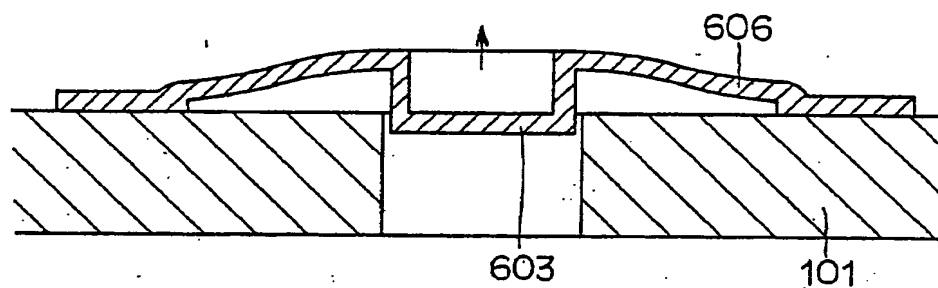


FIG.27A

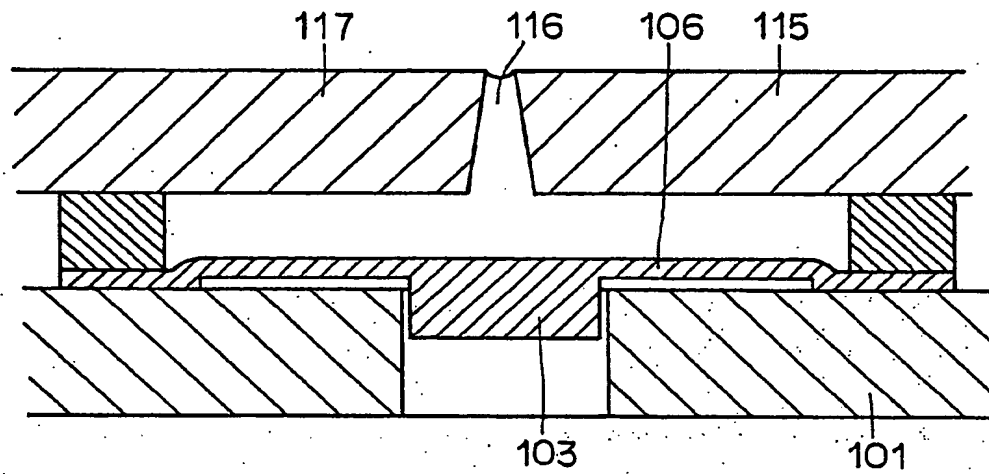


FIG.27B

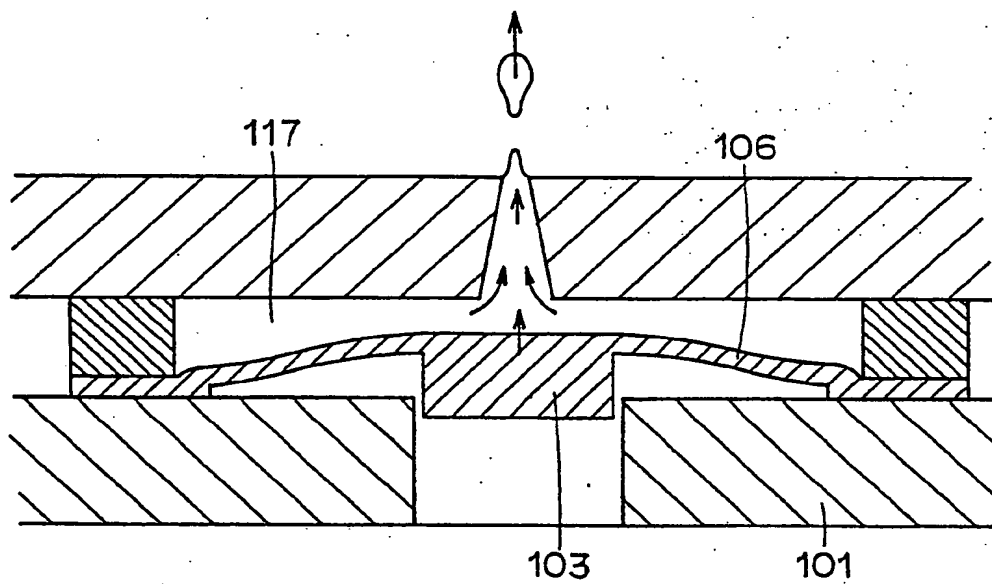


FIG.28A

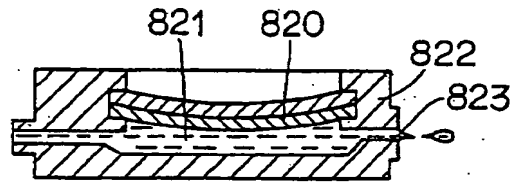


FIG.28B

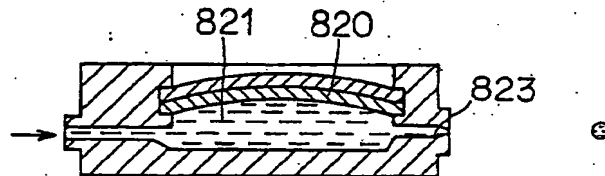


FIG.29

